

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Інженерно-фізичний факультет

Кафедра ливарного виробництва чорних і кольорових металів

«На правах рукопису»
УДК 669.018.9

До захисту допущено
Завідувач кафедри
М.М. Ямпінський
(ініціали, прізвище)

_____ (підпис)

“ ” _____ 2018 р.

Магістерська дисертація

за спеціальністю 136 – Металургія

на тему: Технологія виробництва, структура та експлуатаційні властивості
економно - армованих литих алюмоматричних композитів

Виконав: студент 6-го курсу, групи ФЛ-61м

Івашина Михайло Іванович

(прізвище, ім'я, по батькові)

_____ (підпис)

Науковий керівник

зав. відділу, д.т.н., ст. наук. співр.

Затуловський А.С.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Консультант з
економічно-організаційної
частини

к.е.н., ст. викл. Нараєвський С.В.

(науковий ступінь та звання, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

Консультант
з нормоконтролю

к.т.н., доц. Федоров Г.Є.

(науковий ступінь та звання, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

Рецензент

д.т.н. Шипицин С.Я.

(науковий ступінь та звання, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2018 р.

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Факультет – інженерно-фізичний

Кафедра – ливарного виробництва чорних і кольорових металів

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність 136 – Металургія

Спеціалізація – Ливарне виробництво і комп'ютеризація процесів лиття

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

М.М. Ямшинський

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ ____ ” _____ 2018 р.

**З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСКУ ДИСЕРТАЦІЮ СТУДЕНТУ**

Івашина Михайлу Івановичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації: Технологія виробництва, структура та експлуатаційні властивості економно - армованих литих алюмоматричних композитів,

науковий керівник Затуловський Андрій Сергійович д.т.н., ст. наук. співр.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «22» березня 2018 року № 994-с

2. Строк подання студентом дисертації 12 травня 2018 року

3. Об'єкт дослідження: процес отримання композиційних матеріалів комплексно армованих дискретними наповнювачами з підвищеним рівнем властивостей матеріалу.

4. Предмет дослідження: структура та триботехнічні властивості композиційних матеріалів комплексно армованих дискретними наповнювачами.

5. Перелік питань, які потрібно розробити: 5.1 Опрацювати та проаналізувати літературу за темою дослідження; 5.2 Оптимізувати методику дослідження; 5.3 Провести експерименти; 5.4 Виготовити та дослідити зразки; 5.5 Дослідити вплив контактної взаємодії на процеси поєднання алюмінієвих розплавів та дискретних зміцнюючих частинок; 5.6 Дослідити реакційну та дифузійну взаємодію та їх вплив на параметри змочування в системі алюмінієвий розплав - армуючі частинки; 5.7 Визначити характеристики змочування розплаву АЛ25 відносно технологічних режимів твердо-рідинного суміщення; 5.8 Визначити характеристики змочування при просоченні шару дискретних частинок; 5.9 Розробити організаційно-економічну частину роботи; 5.10 Сформулювати загальні висновки та рекомендації.

6. Перелік ілюстративного матеріалу: Презентація (12 слайдів).

7. Перелік публікацій 7.1 Тези: Дослідження контактної взаємодії в системі розплав – тверді частинки / Івашина М.І., Затуловський А.С. // Нові матеріали і технології в машинобудуванні. – Київ, 2018. – С 212.

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Економічно-організаційна частина	Нараєвський С.В., старший викладач		
Нормоконтроль	Федоров Г.Є., доцент		

9. Дата видачі завдання: 12 березня 2018 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Переддипломна науково-дослідна практика	05.02...09.03.2018р.	
2	Опрацювання та аналіз літератури за темою дослідження	06.02...14.03.2018р.	
3	Оптимізація методик дослідження	06.02...09.02.2018р.	
4	Планування та реалізація експериментів	13.02...01.03.2018р.	
5	Виготовлення зразків, їх дослідження та аналіз результатів	15.02...17.04.2018р.	
6	Виконання організаційно-економічної частини	25.04...02.05.2018р.	
7	Оформлення магістерської дисертації	20.02...11.05.2018р.	
8	Оформлення презентації	24.05...18.05.2018р.	
9	Рецензування дисертації	18.05.2018р.	
10	Захист дисертації	22.05.2018р.	

Студент

_____ Івашина М.І.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Науковий керівник

_____ Затуловський А.С.
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація: 76 с., 16 рис., 8 табл., 74 посилання.

Об'єкт дослідження – процес отримання композиційних матеріалів комплексно армованих дискретними наповнювачами з підвищеним рівнем властивостей матеріалу.

Предмет дослідження – структура та триботехнічні властивості композиційних матеріалів комплексно армованих дискретними наповнювачами.

Мета роботи – створення енерго- та ресурсозберігаючої технології одержання композиційних матеріалів комплексно армованих дискретними наповнювачами з підвищеним рівнем властивостей матеріалу за рахунок використання гібридних наповнювачів, що в певних пропорціях комбінують макророзмірні і дрібнодисперсні складові, завдяки поєднанню порошкових та ливарних підходів, шляхом твердорідинної консолідації порошкової преформи.

Методи дослідження – дослідження поверхневих властивостей розплавів методом лежачої краплі, дослідження триботехнічних властивостей в умовах сухого тертя та в умовах граничного змащення машинним маслом.

Результати дослідження – встановлено характер змочування матеріалу дискретних наповнювачів ливарними сплавами алюмінію і прогнозована міцність адгезійного зв'язку компонентів КМ, та сформульовані раціональні режими твердорідинної консолідації; вивчення впливу типу, кількості і складу дискретних наповнювачів, методу одержання, технологічних режимів на структуру, фізико-механічні та триботехнічні властивості алюмоматричних КМ.

КОМПОЗИЦІЙНИЙ МАТЕРІАЛ, АЛЮМІНІЙ, ДИСКРЕТНІ НАПОВНЮВАЧІ, АРМУВАННЯ, СТРУКТУРА, ФАЗОВИЙ СКЛАД, ТРИБОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ

ABSTRACT

Master's dissertation: 76 p., 16 fig., 8 tab., 74 references.

Object of research – process of producing of composite materials which are comprehensibly reinforced with discrete fillers with increased degree of materials properties.

Subject of research – structure and tribotechnical properties of composite materials which are comprehensibly reinforced with discrete fillers.

The aim of the work – Creation of power- and resource saving production technology of composite materials which are comprehensibly reinforced with discrete fillers with increased degree of materials properties due to the use of hybrid fillers, which in certain proportions combine macro dimensional and disperse structures, due to the association of powder metallurgy and foundry approaches by means of liquid-solid consolidation of the powder preform.

Research methods – the study of surface properties of the melts by the lying drop method, the study of tribotechnical properties in conditions of dry friction and in terms of lubrication of lubrication by machine oil.

The results of the study – establishment of the nature of wetting discrete fillers by the foundry alloys of aluminum and predicted strength of adhesive connection of the CM components; and formulation of rational parameters of liquid-solid consolidation; study of the type, quantity and composition of discrete fillers, methods of production, technological regimes influence on the structure, physical and mechanical, as well as tribotechnical properties of alumomatrixes CM;

COMPOSITE MATERIAL, ALUMINUM, DISCRETE FILLERS,
ARMING, STRUCTURE, PHASE COMPOSITION, TRIBOLOGICAL
PROPERTIES

ЗМІСТ

ВСТУП	9
1 СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕННЯ	10
1.1 Основні вимоги до металоматричних композиційних матеріалів та їх складових	10
1.2 Композиційні матеріали з дискретною композиційною матрицею	15
1.3 Технологічні аспекти синтезу литих дискретно армованих композитів з матрицею із алюмінієвих сплавів	18
1.4 Антифрикційні КМ із матрицями з алюмінієвих сплавів – перспективний напрямок в області розробки матеріалів триботехнічного призначення	28
1.5 Висновки та постановка задач досліджень	33
2 МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ	34
2.1 Вихідні матеріали	34
2.2 Дослідження поверхневих властивостей розплавів методом лежачої краплі	34
2.3 Одержання композиційних виливків методом вакуумно-компресійного просочення порошкового напонювача	38
2.4 Дослідження триботехнічних властивостей	39
2.5 Висновки до розділу 2	40
3 ВЗАЄМОДІЯ ТИТАНОВОГО КОМПОЗИТУ З РОЗПЛАВОМ АЛЮМІНІЮ	41
3.1 Визначення характеристик змочування розплавом АЛ25 відносно технологічних режимів твердо-рідинного суміщення	41
3.2 Визначення характеристик змочування при просоченні шару дискретних частинок	42
3.3 Вплив вмісту та розміру армуючих частинок на триботехнічні та механічні властивості алюмоматричних композиційних матеріалів	45

3.4 Висновки до розділу 3	55
4 ОРГАНІЗАЦІЙНО – ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	56
4.1 Науково-технічна актуальність теми дослідження.....	56
4.2 Розрахунок витрат на проведення дослідження	56
4.2.1 Витрати на оплату праці.....	56
4.2.2 Єдиний соціальний внесок	58
4.2.3 Матеріали, необхідні для проведення досліджень	58
4.2.4 Витрати на спеціальне обладнання	58
4.2.5 Вартість послуг сторонніх організацій	59
4.2.6 Витрати на службові відрядження	59
4.2.7 Інші невраховані прямі витрати	59
4.2.8 Накладні витрати.....	59
4.2.9 Розроблення планової калькуляції кошторисної вартості теми	60
4.3 Визначення очікуваних результатів магістерської дисертації та розрахунок показників економічної ефективності.....	60
4.4 Висновки до розділу 4	63
5 ОХОРОНА ПРАЦІ НА РОБОЧОМУ МІСЦІ	64
5.1 Організаційні питання охорони праці.....	64
5.2 Аналіз умов праці.....	64
5.3 Забезпечення безпеки та запобігання надзвичайним ситуаціям	67
5.4 Висновки до розділу 5	67
6 РОЗРОБЛЕННЯ БІЗНЕС-ПРОЕКТУ	68
6.1 Опис ідеї проекту	68
6.2 Бізнес-модель.....	68
6.2.1 Продукт	68

6.2.2 Сегмент споживачів	68
6.2.3 Канали збуту	68
6.2.4 Взаємодія зі споживачами	69
6.2.5 Прибуток (монетизація).....	69
6.2.6 Ключові види діяльності	69
6.2.7 Ключові ресурси.....	70
6.2.8 Ключові партнери	70
6.2.9 Витрати.....	70
6.3 Споживчі властивості товару	70
6.4 Дослідження ринку	70
6.5 Маркетингова стратегія просування	71
6.6 Елементи фінансового плану	71
6.6.1 Опис бізнес - проекту.....	71
6.6.2 Опис товару/ послуги/ технології.....	71
6.6.3 Маркетинг та продаж.....	72
6.6.4 Фінансовий план.....	72
6.6.5 Резюме	72
6.7 Висновки до розділу 6	74
ВИСНОВКИ.....	75
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	77

ВСТУП

Науково-технічний прогрес сучасної техніки здійснюється на основі широкого застосування нових наукомістких технологій і матеріалів. Підвищені вимоги до рівня експлуатаційних характеристик матеріалів для екстремальних умов експлуатації більшості деталей, сьогодні та у доступному для огляду майбутньому неможливо реалізувати за рахунок використання серійних сплавів і традиційних методів їхньої обробки: легування, модифікування, термічної обробки й ін. Оскільки в більшості випадків деталі машин, оснащення, інструмент виходять з ладу внаслідок руйнування контактних поверхонь тертя, отже розробка нових економноармованих антифрикційних матеріалів з поліпшеними експлуатаційними характеристиками для масових галузей промисловості є актуальною науково-технічною проблемою. Важливе значення на сучасному етапі набуває підвищення конкурентних переваг виробів при впровадженні нових матеріалів за рахунок заміни традиційних матеріалів на основі дорогих кольорових металів (Cu, Sn та ін.). Цим вимогам задовольняють металоматричні дисперсійно зміцнені композиційні матеріали (КМ), цілеспрямоване регулювання складу й методів виготовлення котрих, дозволяє вийти на принципово новий рівень експлуатаційних властивостей в поєднанні з низькою собівартістю.

Останні десятиліття характеризуються посиленням уваги всіх промислово розвинутих країн до проблем тертя й зношування, шкідливі наслідки яких досить збиткові. Проблеми пов'язані насамперед із втратами матеріалів при зношуванні та виходом устаткування з ладу, утворенням екологічно шкідливих продуктів зношування, а також збільшенням енерговитрат. Тому найважливіша проблема сучасної науки - пошук ефективних методів підвищення зносостійкості й зниження енергоємності рухливих сполучень. У зв'язку із цим іде інтенсивний розвиток і освоєння нових видів триботехнічних матеріалів, у тому числі біметалічних.

1 СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Основні вимоги до металоматричних композиційних матеріалів та їх складових

Розробка високоефективних матеріалів, новітніх технологій їхнього одержання і застосування є найважливішим чинником розвитку світової індустрії. Пріоритети металургії і матеріалознавства нерозривно пов'язані з розвитком суспільства, потребами існуючих і перспективних галузей техніки [1]. Сьогодні головними науково-технічними напрямками матеріалознавства є створення нових перспективних матеріалів на основі поглиблених фундаментальних досліджень фізико-хімічних процесів формування структури та взаємодії фаз у металевих, неметалевих і гетерогенних матеріалах, пошук нових принципів систем армування й легування високоміцних композицій, удосконалення й розробка нових технологій твердо-рідкофазної консолідації, розробка гетерогенних композиційних матеріалів (КМ) з високою питомою міцністю, зносостійкістю, розмірною стабільністю при підвищених температурах і навантаженнях, неодмінно доступних за ціною для масових галузей промисловості [2]. Нові матеріали повинні задовольняти зростання вимог техніки до міцності, мінімальної ваги, збільшення ресурсу надійної роботи, економічності експлуатації деталей і вузлів конструкцій в екстремальних умовах інтенсивного температурно-силового впливу й агресивних середовищ. Зазначені матеріалознавчі проблеми набули особливої актуальності та ваги, оскільки відомі методи фізичного матеріалознавства (легування, термічна й термомеханічна обробка) практично вичерпали свої можливості плідного підвищення надійності й працездатності металевих матеріалів (сталей, титанових, мідних, алюмінієвих сплавів), тому що подальше збільшення їхньої міцності не призводить до адекватного росту модуля нормальної пружності [3]. Крім того, гомогенні металеві матеріали характеризуються підвищеною чутливістю до концентраторів напруг. Тому, практично в усіх проми-

слово розвинених країнах світу безупинно підвищується інтерес до КМ, які мають оптимальну гетерогенну структуру. Висока міцність КМ досягається за рахунок армування високомодульними елементами (волокна, частинки та ін.), а істотно висока в'язкість руйнування забезпечується пластичною матрицею й специфічним механізмом розсіювання енергії руйнування у композиції. Встановлено ще одну перевагу КМ: завдяки релаксації напруг і пластичному зрушенню на границі розподілу «матриця - армуючий елемент», крихка тріщина, яка призводить до руйнування виробу з моносплаву, не поширюється по всьому перетину КМ [4, 5]. Практично КМ, як новий клас конструкційних і функціональних матеріалів з'явилися понад 50 років тому. За цей період було досягнуто помітних результатів у царині розробок, дослідження й застосування КМ. Завдяки наведеним вище відмінним фізико-механічним характеристикам та їхньому унікальному сполученню, КМ широко застосовують у різних областях сучасної техніки: від космічних апаратів до побутових машин. В 90-х роках минулого століття розпочалася ера металевих композиційних матеріалів (МКМ), псевдо сплавів, композитів на основі кераміки. МКМ, які складаються з високо пластичних металевих матриць, що армовані високомодульними армуючими частинками або частинками твердих змащень, мають підвищену несучу здатність, задиростійкість й зносостійкість, високу міцність й розмірну стабільність (низький ТКЛР) при підвищених температурах і силових навантаженнях, високу в'язкість руйнування, втомні властивості, тепло- і електропровідність, гарну ремонтоздатність. Потреби сучасного виробництва та динаміка науково-технічного прогресу визначають перспективність застосування МКМ. Відомості про використання дисперсійно зміцнених алюмоматричних композиційних матеріалів у вітчизняних і закордонних розробках, а також проведений аналіз науково-технічної й патентної літератури доводять, що нині накопичено деякий досвід використання МКМ систем «алюмінієві сплави - тугоплавкі, жароміцні, тверді частинки», як триботехнічного матеріалу.

Розробка КМ зіграла революційну роль в авіаційній та ракетобудувальній галузях (обшивка, лонжерони, панелі й т.д.). У космічній техніці КМ застосовуються для вузлів силових конструкцій апаратів, що піддаються нагріванню. В автомобілебудуванні для полегшення кузовів, рам, бамперів і т.д. У цивільному будівництві – прольоти мостів, елементи збірних конструкцій висотних споруд і т.д.

Наповнювач у вигляді посилюючих елементів розташовується рівномірно або із заданим градієнтом по всьому перетину матриці. У якості армуючих наповнювачів, використовують найрізноманітніші компоненти: молибден, ванадій, оксид алюмінію, графіт, різні бори́ди, нітриди й карбіди. Найбільші перспективи мають: неметалеві бескисневі тугоплавкі з'єднання карбідів і нітридів бору та кремнію, а також тверді тугоплавкі оксиди (алюмінію, цирконію, ін.), ситалліти, інтерметаліди, інші з'єднання і кераміка [6]

Вперше синтез литих алюмоматричних композитів, у тому числі алюміній-графітових, Al-SiC , і $\text{Al-Al}_2\text{O}_3$ було запропоновано Р. Rohatgi в 1965 році. Спочатку передбачалося використовувати в якості зміцнювачів вуса SiC [7].

Дослідники прагнули значно розширити ефективність Al сплавів у якості конструкційних матеріалів шляхом підвищення питомого модуля й питомої міцності. Втім, занадто висока вартість і складність виробництва вусів і питома ймовірність ушкоджень ниток, небезпека для здоров'я в процесі консолідації призвели до концепції дисперсних зміцнювачів [8].

Частинки в армованому КМ забезпечують ізотропні властивості з балансом підвищеної міцності й твердості, а також прийнятну міру пластичності і додаткові функціональні властивості, зокрема високу тепло- або електропровідність (або, навпаки, електричну або теплову ізоляцію), гарну зносостійкість, контрольований коефіцієнт теплового розширення (КТР), забезпечують екологічну безпеку процесів виробництва. Баланс властивостей, який забезпечується у цих композиціях, зазвичай, не можливо одержати у монолітному матеріалі.

Армуюча фаза може бути у вигляді волокон – у цьому випадку матеріал буде анізотропним, або у вигляді дисперсних частинок – у цьому випадку – ізотропним. Дрібнодисперсні частинки іншого компоненту рівномірно розподілені в матриці, внаслідок чого утворюється ізотропна структура, що ефективно протидіє пластичній деформації. Розподіл дисперсних включень у матриці при значному збільшенні температури не змінюється, оскільки включення, які роз'єднані матрицею, за рахунок дифузійного переносу майже не агломерують. Дислокації, зустрічаючи на шляху частинки, або огинають їх, або перерізають, що потребує додаткової роботи. У композитах з металевою матрицею об'єднуються переваги конструкційних металевих матеріалів з перевагами наповнювача, найчастіше високомодульного керамічного. На сьогодні у промисловості застосовують дисперсійно зміцнені КМ на основі практично всіх технічно важливих металевих матеріалів. Раціонально обрана матриця дозволяє реалізувати відмінні характеристики вихідних компонентів і утворити матеріал, що відповідає конкретним умовам роботи і конструкційним особливостям. Обираючи матрицю, також необхідно враховувати як механічні і експлуатаційні властивості матеріалу, так і технологічність виготовлення.

Матриця у композиційному матеріалі:

- 1) забезпечує монолітність композиту;
- 2) фіксує форму виробу;
- 3) закріплює розташування елементів між собою, армує виріб;
- 4) розподіляє діючу напругу за об'ємом матеріалу, тим самим забезпечує рівномірне навантаження на волокна і перерозподіл напруги під час руйнування частини армуючих частинок або волокон;
- 5) визначає метод виготовлення виробів з композитів;
- 6) визначає можливість виконання конструкції заданих габаритів;
- 7) визначає параметри технологічних процесів і т.ін.;

Вимоги, що застосовуються до матриць розподіляються на експлуатаційні й технологічні.

До експлуатаційних належать вимоги, котрі пов'язані з механічними й фізико-хімічними властивостями матеріалу матриці. Вони забезпечують працездатність композиції при дії різних експлуатаційних факторів:

- Механічні властивості матриці повинні забезпечувати спільну роботу армуючих волокон або частинок при різних видах навантажень.
- Характеристики міцності матеріалу матриці є визначальними під дією зсувних навантажень, навантаження композиту в напрямках, які відрізняються від орієнтації армуючих елементів, а також при циклічному навантаженні.
- Природа матриці визначає рівень робочих температур композиту, характер зміни властивостей під час впливу атмосферних чи інших факторів. З підвищенням температури міцність та інші характеристики матричних матеріалів, як і міцність їхніх сполук з багатьма типами волокон, знижується. Матеріал матриці також характеризує стійкість композиту до впливу зовнішнього середовища, хімічну стійкість, частково теплофізичні, електричні й інші властивості.

Технологічні вимоги до матриці визначаються процесами одержання композиту та виробу з нього, що протікають зазвичай одночасно, а саме процесами сполучення армуючих частинок з матрицею та остаточного формоутворення виробу. Метою технологічних операцій є:

- забезпечення рівномірного розподілу частинок або волокон у матриці при заданому їх об'ємному вмісті;
- максимально можливе збереження міцності армуючих елементів;
- створення досить міцної взаємодії на границі армуюча частка - матриця.

Армуючі частинки повинні мати наступні першорядні фізико-хімічні властивості: високу твердість, структурну і термічну стабільність, хімічну стійкість, мати стабільні властивості при робочих температурах, жароміцність, щільність близьку до рідкого металу. Такі матеріали мають бути недорогими й недефіцитними, що дозволить зробити ЛКМ загальнодоступними

для машинобудування. Існує безліч різноманітних за своєю природою армуючих елементів, що використовуються у техніці. Це волокна, графітові частинки, вуглеполімерні сполуки, кремній органічні, поліамідні, фторопластові полімери, безкисневі сполуки (карбіди кремнію, бору, титану або нітрид кремнію), оксиди (алюмінію, цирконію, магнію, кремнію), силікатні матеріали (шпінелі, мулит), шлаки, скло.

1.2 Композиційні матеріали з дискретною композиційною матрицею

Композиційним матеріалом (КМ) або композитом називають об'ємну гетерогенну систему, що складається з компонентів, які сильно різняться за властивостями, взаємно нерозчинні, будова яких дозволяє використовувати переваги кожного з них.

Металоматричні композиційні матеріали з дискретною композиційною матрицею – це багатокомпонентні матеріали з металевою основою (матрицею), яка армована наповнювачами з волокон, нитковидних кристалів, дрібнодисперсних частинок та ін. Комбінацією властивостей композиційної складової (наповнювача) і матриці (зв'язуючого) досягається необхідне поєднання експлуатаційних характеристик композиційного матеріалу. Застосування декількох матричних матеріалів (поліматричні матеріали) або наповнювачів (комплексне зміцнення) значно розширює можливості композиційного матеріалу.

Сучасний термін «композиційний матеріал» передбачає виконання наступних умов:

1. Композиція повинна містити щонайменше два різнорідних матеріали з чіткою границею між ними.
2. Композиція утворюється об'ємним поєднанням її компонентів.
3. Композиційний матеріал повинен мати властивості, яких немає в жодної з його складових [9, 10].

Тому, до композиційних матеріалів можна зарахувати всі складні системи, що містять кілька фаз у своїй структурі. Також до композиційних матеріалів належать ливарні сплави, легуючі елементи в яких істотно змінюють властивості, а в структурі міститься більше однієї фази.

Найбільше розповсюдження в промисловості здобули дискретно зміцнені композиційні матеріали (ДЗКМ), що складаються із пластичної металевої матриці та зміцнюючої добавки у вигляді частинок, волокон, нитковидних кристалів, тонкої стружки, гранул і т.п. Міцність зв'язку між металевою матрицею і зміцнюючими добавками визначає властивості композиту. За рівнем властивостей і вартістю найбільш перспективними є ДЗКМ на основі алюмінієвих сплавів, які армовані тугоплавкими, високомодульними частками. У якості наповнювача в таких КМ застосовують частинки й волокна з карбідів (SiC , TiC), нітридів (TiN) оксидів (Al_2O_3 , SiO_2 , ZrO_2), графіту та ін. [11]. Перевагою цих матеріалів є: мала питома вага, високі функціональні й технологічні властивості, підвищена жаро- і зносостійкість та ін. [11-14].

За типом наповнювача композиційні матеріали поділяють на волокнисті (армовані волокнами й нитковидними кристалами), шаруваті (армовані плівками та ін.), дисперсно-армовані або дисперсно-зміцнені (з наповнювачем у вигляді тонкодисперсних частинок). За матеріалом матриці композити поділяють: полімерні, металеві, вуглецеві, керамічні та інші [15]. Існують композити, в яких складно визначити матрицю й наповнювач (наприклад, багат шарові композити).

Розвиток виробництва полімерів і пластмас дозволив створювати КМ на їхній основі з відносно низькою вартістю. А втім, досвід експлуатації композитів показав, що металева матриця забезпечує найбільшу міцність матеріалу й рівномірний розподіл напруг у ньому, що врешті визначає високу термо- і хімічну стійкість матеріалу.

Існують різні класифікації композитів за видом, розміром і структурою наповнювача, матеріалом матриці, сферою застосування й ін. Затуловський С.С. у своїй роботі [16] поділив литі композити на дві групи: макрогете-

рогенні й мікрогетерогенні. До макрогетерогенних відносяться композити, що армовані гранулами, стрижнями, листами, сітками та іншими наповнювачами різної маси й конфігурації. Композити з організованою структурою і хімічною неоднорідністю в металевій матриці, яка виникає при введенні в розплав дисперсних добавок (переважно неметалічних), створюють групу мікрогетерогенних.

Сучасні дискретно зміцнені композиційні матеріали на металевій основі, залежно від типу застосовуваних наповнювачів, можна розділити на три основних класи: дисперсно-зміцнені, зміцнені частинками й армовані волокнами. Матрицею є той чи інший сплав, який розділений зміцнюючою фазою. У дисперсно-зміцнених матеріалах мікроструктура складається з матриці із рівномірно розподіленими в ній дрібними частинками розміром до 1 мкм [17].

Композити зміцнені волокнами – анізотропні, а діаметр армуючих волокон становить до десятків мікрометрів, а довжина – від 1 мкм до безперервних волокон при вмісті до 70-80 об. %. Композити, лінійний розмір армуючої фази яких менше 1 мкм, складають клас дисперсно-зміцнених композиційних матеріалів. Останніми роками також почали вирізняти клас нанокompозитів, у яких лінійний розмір композиційних компонентів становить менше 100 нм.

Експлуатаційні показники дисперсно-зміцнених КМ залежать від властивостей наповнювача та його об'ємного вмісту, фракційної сполуки, розподілу, міцності зв'язків з матрицею і властивостей матричного сплаву [18]. Традиційно, властивості нових композиційних матеріалів порівнюють із властивостями матричного матеріалу. Властивості ДЗКМ з рівномірним розподілом наповнювача і вдалим адгезійним зв'язком на границі матриця - армуюча фаза, залежать від природи й складу композиційної складової. Так ДЗКМ, котрі містять у своєму складі частинки графіту, характеризуються зниженою міцністю на розрив та пластичністю. З іншого боку ДЗКМ на основі Al і Cu із графітовими домішками мають підвищену зносостійкість, ни-

зкий коефіцієнт тертя. На поверхнях тертя формується графітова плівка, що запобігає контакту пар тертя і схоплюванню [19]. При використанні високомодульних наповнювачів підвищується жароміцність матеріалів, знижується термічний коефіцієнт лінійного розширення [20]. Наприклад, наявність невеликої кількості частинок SiC (3-5%) в алюмінієвій матриці значно (до 2,5 разів) підвищує зносостійкість матеріалу, що досягається за рахунок перерозподілу навантаження в композиті, підвищеного опору схоплюванню й збільшеній термічній стабільності [21].

1.3 Технологічні аспекти синтезу литих дискретно армованих композитів з матрицею із алюмінієвих сплавів

Наразі технологічні рішення пов'язані з розробкою і створенням якомога менш енергоємних процесів виготовлення виливків, заготовок і деталей. Аналіз існуючих способів одержання КМ за багатьма критеріями доводить, що ливарне виробництво є найдавнішим і в той же час найперспективнішим. Існуюче ливарне виробництво не має можливостей створювати композиції зазначеного типу в широкому діапазоні процентного співвідношення зміцнюючих елементів в алюмінієвій матриці. Подальший розвиток теорії й практики цієї технології пов'язаний із необхідністю рішення наступних завдань:

- рівномірності розподілу зміцнюючої фази в об'ємі литої заготовки;
- оптимізації процентного співвідношення компонентів з позицій прогнозування майбутніх технологічних властивостей ливарних композиційних матеріалів (ЛКМ);
- визначення впливу вмісту, розмірів і форми оксидів на ливарні властивості композиції;
- визначення основних технологічних параметрів виробництва заготовки різними способами лиття;
- розробки необхідного технологічного устаткування й оснащення для виробництва ЛКМ.

Технологічний процес одержання литих композиційних матеріалів (ЛКМ) і виливків з них можливо умовно розділити на три основні етапи: підготовка розплаву й армуючих частинок або волокон, сполучення армуючих фаз і матриці, обробка отриманих сумішей у рідкому стані, стані що кристалізується і твердому стані. Для виробництва литтям композиційних матеріалів в основному використовуються такі процеси:

- вихровий метод перемішування зміцнюючих частинок з розплавом матриці, (melt stirring);
- інфільтрація преформ під тиском газу;
- інфільтрація видавлюванням або лиття під тиском;
- лиття в напівтвердому стані.

Найбільш поширеним є синтез КМ із використанням вихрового методу перемішування. Перемішування може здійснюватися в наслідок обертання механічної крильчатки, стрижнів, центрифугування та під впливом ультразвуку. Метод перемішування за допомогою крильчатки запропонував в 1968 році S. Ray [22]. У виробництві КМ процес перемішування крильчаткою Duralcan (DuralcamTM належить компанії Alcan Aluminum) є одним з основних та розвинених [23]. В той час, як інші методи вимагають при перемішуванні додавати до сплаву матриці поверхнево-активні речовини або використовувати керамічні зміцнювачі з металевим покриттям. При низьких об'ємних частках у процесі Duralcan можна застосовувати звичайні алюмінієві сплави й використовувати керамічні частинки з розмірами приблизно 10...12 мкм, при цьому частку зміцнювача можливо довести до рівня 25% [24, 25]. Композити Duralcan на сьогодні випускаються серійними партіями й поставляються у вигляді лиття або злитків. Інші виробники також повідомляють про виробництво КМ схожими методами. Для композитів з металевою матрицею й дискретним зміцнювачем метод перемішування розплаву, у цілому, сприймається як особливо перспективний і практикується на сьогодні на комерційній основі. Його переваги полягають у простоті, гнучкості й придатності для виробництва великих об'ємів матеріалу. Він привабливий,

ще й тим що, в принципі, дає змогу вести обробку матеріалу звичайним методом, а отже, зменшує кінцеву вартість продукту. Ця технологія є найбільш економічною серед доступних методів виробництва композитів з металевою матрицею та дозволяє виготовляти вироби великих розмірів [26]. Витрати на підготовку композиційних матеріалів з використанням методу лиття з перемішуванням становить від однієї третини до половини від витрат конкурентних методів, а для високих обсягів виробництва прогнозується, що вартість впаде до однієї десятої [23, 27].

При виготовленні КМ із металевою матрицею методом замішування частинок у розплав є кілька факторів, які вимагають значної уваги, у тому числі труднощі досягнення рівномірного розподілу армуючого матеріалу, змочування частинок зміцнювача розплавом, пористість у виливках композитів та хімічні реакції між матеріалом зміцнювача і матричним сплавом. З метою досягнення оптимальних властивостей КМ, розподіл армуючого матеріалу в матриці сплаву повинен бути однорідним, а змочування або зв'язок між цими речовинами обов'язково має бути оптимізовано. Таким чином, при виготовленні КМ основною проблемою є формування однорідного дисперсійного розподілу керамічних частинок на звичайному устаткуванні низької вартості для комерційних застосувань. Спираючись на опубліковані праці можна зрозуміти, що є потреба в гарних пристроях перемішування, що здатні забезпечувати тісні міжфазні контакти при зведенні до мінімуму поглинання газу.

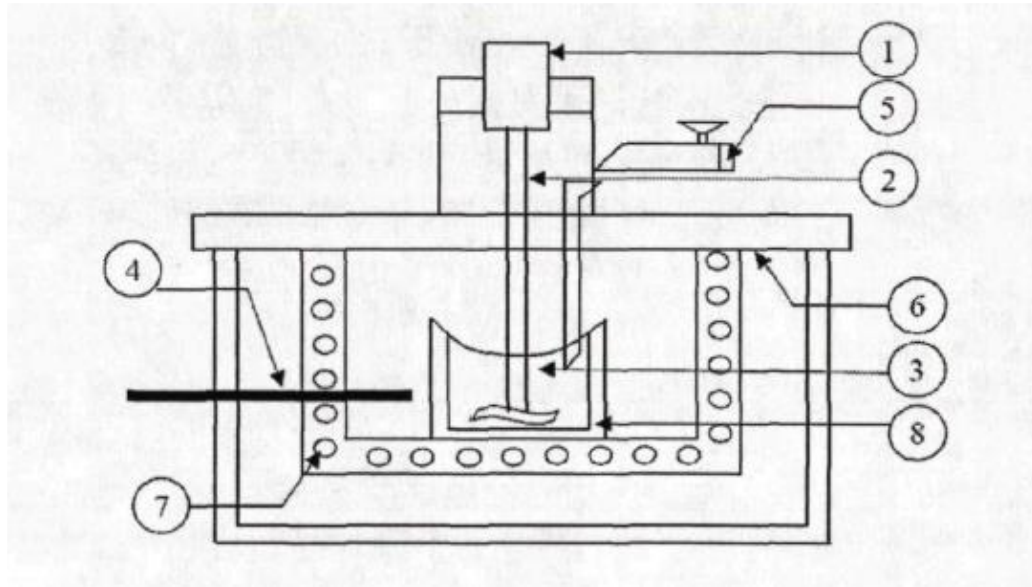
Інжекційний метод. Інжекційний метод введення наповнювачів полягає в тому, що в розплав матриці, яка перебуває в нерухливій ємності [28] або в обертовому кокоті [29], у потоці газу-носія подають порціями частинки зміцнюючої фази. При вдмухуванні частинок із щільністю меншою, аніж у розплаві, їхній рівномірний розподіл в об'ємі досягається за рахунок зворотно-поступального руху пуансону, який розташований над розплавом, що занурює спливаючі частинки. Під час подачі частинок з великою щільністю, вони розподіляються рівномірно за рахунок їхнього гравітаційного осідання. Вар-

то мати на увазі, що ефективне вдмухування порошків у розплав досягається при досить великих витратах газу-носія. При низькій витраті газу закупорюються магістралі, по яких рухається газопорошкова суміш. Продувка сплавів з підвищеною витратою газу супроводжується бурлінням розплаву. У результаті цього, під час інжекції частинок, алюмінієвий розплав окислюється й насичується воднем. Установка для введення наповнювача в розплав інжекційним методом складається з плавильної печі, розташованого в ній тигля з донним стопором, форсунки для розпилення потоку, живильника для дозованої подачі армуючих частинок і ливарної форми. При досягненні необхідної температури розплаву стопор піднімається й розплав починає виливатись з тигля; газовим потоком з форсунки струмінь розплаву дробиться на краплі, а під впливом тиску газу частинки, що надходять із живильника, вводяться в розпилений розплав. Засвоєння частинок поліпшується при легуванні алюмінієвих матриць кальцієм ($\sim 0,5\%$). Краплі розплаву попадають або у форму, де утворюють злиток із КМ, або на підложку, що рухається, з утворенням стрічки-напівфабрикату. Заготовки з таких КМ можуть переплавлятися, а отриманий розплав – заливатися звичайними ливарними методами без погіршення їхніх фізико-механічних властивостей.

Двошагове перемішування. Цей метод виготовлення композитів з металевою матрицею містить у собі розплавлення матеріалу матриці, введення армуючого матеріалу в рідкий метал і одержання гетерогенного розплаву, після чого відбувається затвердіння. У роботі M. Singla та ін. (2009) описано установку для виробництва КМ методом перемішування (рис. 1.1) [30]. У роботі [31] для перемішування було застосовано нову форму руху. Мішалку з 4 лопатками, що встановлені під кутом 45° , було виготовлено з м'якої сталі. Положення мішалки має бути таким, аби 35% матеріалу було нижче мішалки, а 65% – вище мішалки [32, 33].

Температуру в печі спочатку піднімали вище ліквідусу, щоб розплавити матричний метал повністю і тільки згодом розплав охолоджували трохи нижче ліквідусу й тримали систему в напівтвердому стані. Частинки SiC, ро-

зігріті до 1100 °С, впродовж від 1 до 3 годин (щоб зробити їхню поверхню окисленою) додавали до розплаву й замішували вручну. Ручне перемішування використовували оскільки сплав перебував у напівтвердому стані і його перемішування за допомогою автоматичного пристрою було утруднено.



1 – мотор; 2 – вал; 3 – розплавлений алюміній; 4 – термопара; 5 – камера для введення частинок; 6 – плита ізоляції; 7 – піч; 8 – графітовий тигель

Рисунок 1.1 – Схема установки для виготовлення композиту [30]

Після достатнього ручного перемішування композиційну суспензію підігрівали до повністю рідкого стану, а потім проводили автоматичне механічне перемішування протягом 10 хвилин при нормальній швидкості перемішування 600 об/хв. Наприкінці процесу перемішування температура в печі підтримувалася в межах 760 ± 10 °С. Заливання композитного розплаву велося в піщану форму.

Частинки зазвичай схильні до утворення агломератів, які можна зруйнувати тільки при інтенсивному перемішуванні. Однак, при цьому варто уникати доступу газу в розплав, оскільки це може призвести до небажаних пористості або реакцій. Особливої уваги надається дисперсності компонентів зміцнювача, таким чином реакційна здатність компонентів, що використовую-

ються має узгоджуватися з температурою розплаву й тривалістю перемішування, через те що реакції з розплавом призводять до розчинення компонентів зміцнення. Розплав можна розливати одразу або обробляти в альтернативних процедурах, таких як лиття із пресуванням або тиксолитво.

Електромагнітне перемішування з вібрацією. З метою одержання композиційних виливків з рівномірним розподілом армуючих частинок МГД-обробка рідкого алюмінієвого матричного розплаву з введеними до нього керамічними частинками [34]. Підбір параметрів плавки й інтенсивності впливу на розплав дозволяє домогтися рівномірного розподілу армуючих частинок у виробі.

Метод інфільтрації [28]. Така технологія передбачає подачу, під дією вакуумного розрядження або пуансона, порції рідкого металу у форму, в якій розташовано порошковий наповнювач. При збільшенні дисперсності наповнювача (< 100 мкм) просочення такої форми утрудняється. Для частинок розміром менше 1 мкм, їхня інфільтрація стає практично неможливою навіть в умовах надвисокого тиску. Існує 2 варіанти технологічного процесу. У першому варіанті підігріту преформу опускають у розплав, а потім тиск газу створюється над поверхнею розплаву, що призводить до інфільтрації. У другому варіанті інфільтрації під тиском газу в процесі змінюється порядок: преформа притискається до розплаву й при додатковому тиску проникає у ванну (рис. 1.2).

Рівномірний розподіл частинок у розплаві є можливість забезпечити завдяки впливу ультразвукових коливань на рідкий метал [29]. На границі розділу матриця - наповнювач перебуває нерухливий шар рідини (так званий шар Нернста), де перенос речовини здійснюється виключно дифузійним шляхом. Порушення цього шару в ультразвуковому полі внаслідок розвитку кавітації призводить до появи ефекту змочування рідким металом поверхні дисперсних частинок. Недоліком такого методу введення дискретних частинок із застосуванням волноводів (пуансонів) можна відзначити конструкційну складність і труднощі промислової реалізації.

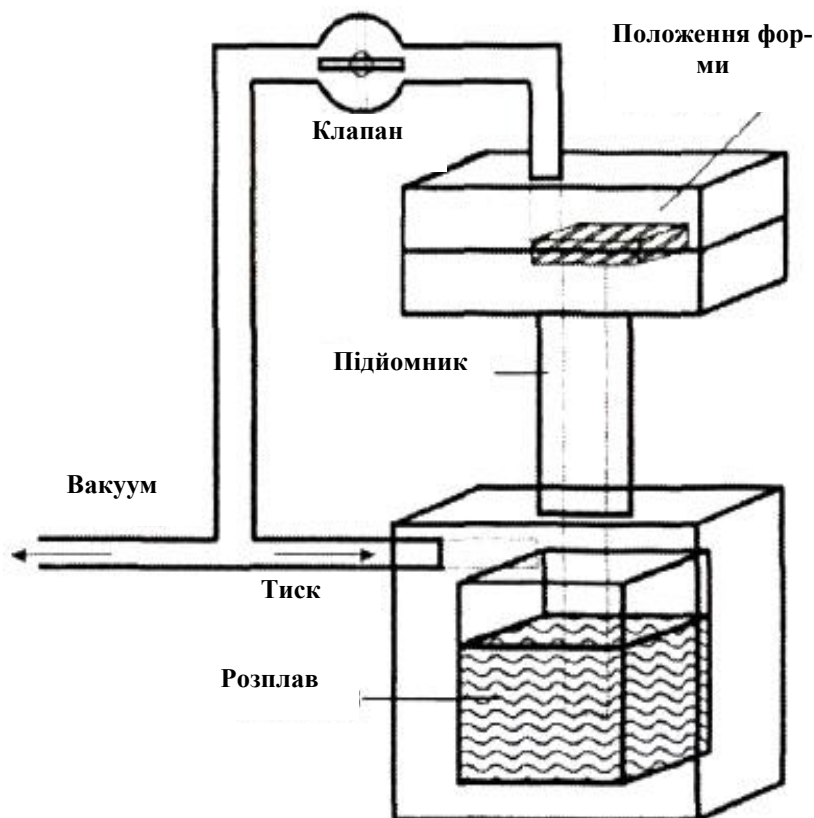


Рисунок 1.2 – Схема технологічного процесу інфільтрації під тиском газу [24]

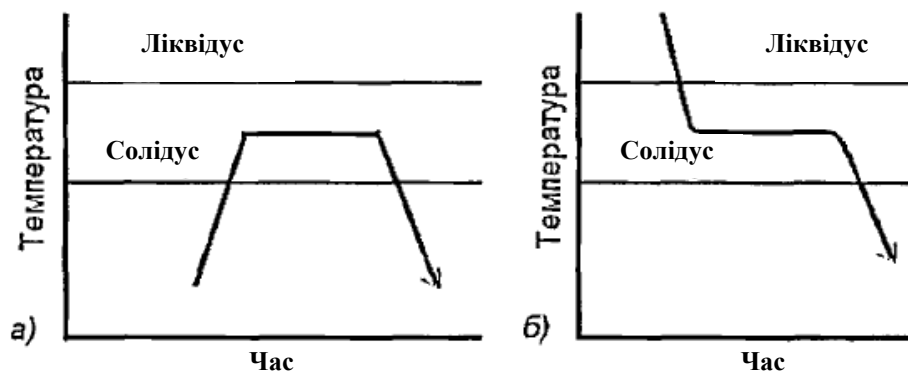
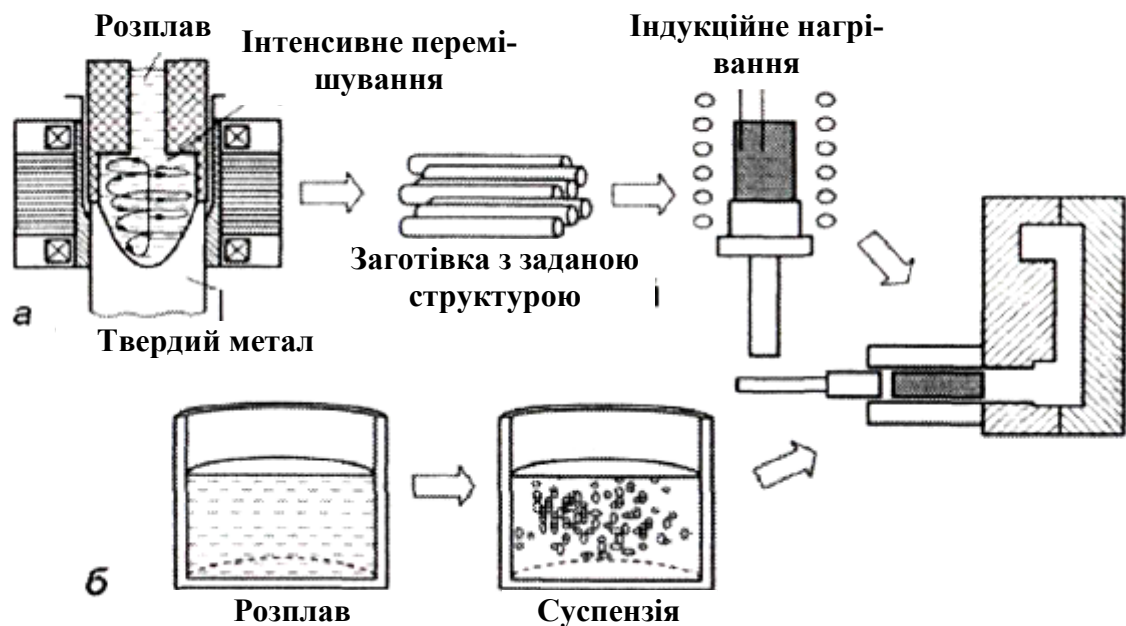


Рисунок 1.3 – Схеми тиксопроцесу (а) та реопроцесу (б) [35]

Способи одержання тиксозаготовок побудовані на ініціюванні фазового перетворення з максимально більшою кількістю активних зародків кристалів, що рівномірно розподілені в об'ємі розплаву. Для цього проводиться розподіл на частини зародків дендритних кристалів і управління швидкістю

росту фрагментів дендритів. Отже, важливим завданням при реалізації даних методів стає не допущення дендритних форм росту зародків. На практиці це здійснюється механічним і електромагнітним впливом на твердіюче середовище, регулюванням охолодження та конвективним перемішуванням суспензії. Технологічна схема процесів тиксоформування представлена на рис. 1.4. Суспензію, ідеальну для технологій переробки у твердорідкому стані, представляють як розплав, що містить певну частку твердої фази у вигляді кристалів сферичної або близької до неї морфології, які рівномірно розподілені в об'ємі розплаву. Якісно підготовлена суспензія слабо чинить опір деформуванню. У нагрітому стані при долі твердої фази близько 50%, тиксозаготовку з алюмінієвого сплаву або з композиту на його основі (A356+17 мас. % SiC) можна розрізати зусиллям руки сталевим ножом зі швидкістю 50 мм/с [36].



а – тиксолитво і тиксоштамповка: плавка металу, перетворення в заготовку з тиксоструктурою, розрізка на частини, повторне нагрівання мірної порції до твердорідкого стану та переробка у виріб; б – реолитво і реоштамповка: плавка металу, перетворення в суспензію і переробка в виріб в одному цеху

Рисунок 1.4 – Процеси за участю напівтвердого стану [35]

Використання прийомів, коли метал перебуває у напівтвердому стані, застосовують не тільки при формуванні деталей з алюмінієвих сплавів, але й при приготуванні композиційних сумішей, що складаються з алюмінієвих сплавів і дискретних армуючих частинок. Так, у роботі [37] розглянуті процеси отримання КМ на основі алюмінієвих сплавів, що містять неметалеві частинки, точне штампування цих матеріалів, досліджено мікроструктуру й поведінку при терті й зношуванні. КМ одержували на основі деформованих алюмінієвих сплавів марок 2014 і 2024 і ливарного сплаву марки 201. У якості армуючого наповнювача використовували частинки Al_2O_3 і SiC у кількості від 2 до 30 мас. % і розміром від 1 до 142 мкм. Неметалеві частинки додавали в частково затверділий матричний сплав. Після затвердіння КМ було повторно нагріто до рідкого стану й підготовлено до штампування під високим тиском на штампувальному пресі із закритим штампом.

Відзначається, що КМ із добавками частинок розміром більше 5 мкм мали однорідну структуру, у той же час як частинки розміром менше 1 мкм утворювали скупчення. Випробування на тертя, яке проведено на установці зі схемою напруження палець (сталева кулька) по диску (КМ) виявило, що КМ, які містять близько 20 мас. % частинок SiC характеризуються високою зносостійкістю, тоді як КМ із меншим і набагато меншим вмістом частинок демонструють при розтяганні властивості порівнянні із ознаками матричних сплавів. Також наголошується, що збільшення процентного вмісту частинок призводить до зниження пластичності. Недоліком цього способу є складність додавання частинок дуже малого розміру, яка пов'язана з появою їхніх скупчень або перед введенням, або в матричному розплаві.

Рідке штампування для виготовлення зразків КМ із малою об'ємною часткою наповнювача здійснюється в такий спосіб: композиційний розплав нагрівають в індукційній печі, видаляють з поверхні оксидну плівку, перемішують і переливають у нижню частину штампа гідростатичного пресу, пресують і витримують до повного затвердіння деталі. Метод забезпечує одер-

жання високих механічних властивостей матеріалів і поліпшену мікроструктуру в порівнянні із КМ, що отримані іншими методами лиття [38].

Метод розбризкування (Osprey процес). Існують процеси за участю рідкої фази, що істотно відрізняються від описаних вище. Наприклад, в Osprey процесі [39] потік розплавленого металу фрагментовано високошвидкісним холодним газовим струменем інертного газу, який проходить через пістолет-розпилювач, одночасно вводяться армуючі порошки, як показано на рис. 1.5.

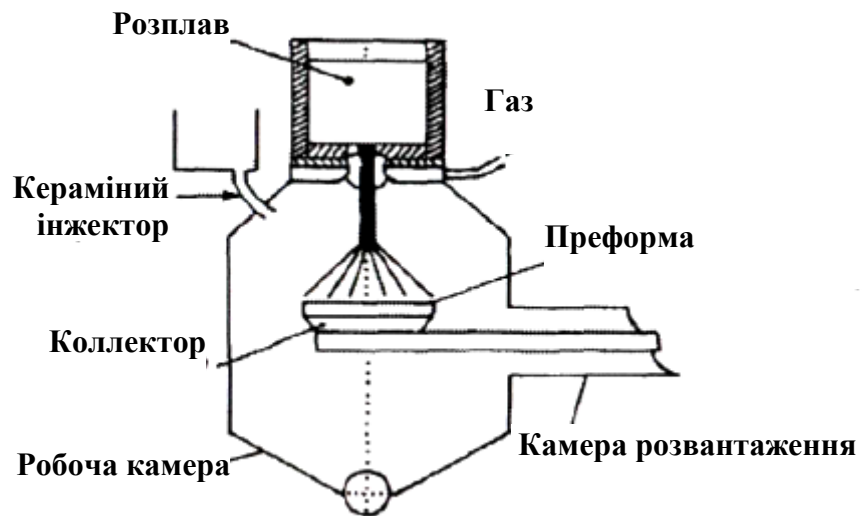


Рисунок 1.5 – Схема процесу розбризкування [39]

Потік розплавлених крапель і порошків спрямований на колектор, де на підложці, краплі закріплюються й кристалізуються. Частинки порошків можуть об'єднуватися із краплями під час польоту, але більшість частинок, як правило, осаджуються. Розпилення частинок може бути незалежним і бути спрямоване в потрібну область. Процес залежить, головним чином, від здатності контролювати ентальпію краплі в падаючих бризках. Краплі повинні бути частково тверді, коли досягатимуть підложки. Якщо ведеться належний контроль, то можна одержувати вироби різної форми – труби, круглі заготовки, смуги та таке інші. Розмір зерна у композиті, що одержують, відносно рівномірний і присутність частинок при кристалізації крапель зміцнює мікроструктуру матриці. Відзначається також, що при цьому методі одержання КМ, завдяки тому, що армуючі порошки вводяться холодними, їхня деграда-

ція і міжфазні реакції мінімальні. Цей процес може призвести до високого рівня продуктивності і отримані продукти можуть бути використані безпосередньо в процесах гарячого формування, таких як ковка, прокатка або екструзія. Показниками, що змінюються у процесі є температура сплаву, швидкість струменя газу і температура підложки.

Реакційне лиття (in-situ). Метод забезпечує додаткове зміцнення матриці інтерметалідними сполуками й новими керамічними фазами [40-46]. Інтерметалідні сполуки формуються в результаті екзотермічних реакцій між Al розплавом і металевими порошками, що вводяться (Ti, Ni, Fe). Отримані реакційним литтям КМ характеризуються максимальним рівнем зв'язку на поверхнях розділу, що обумовлений малою гратковою невідповідністю фаз і наявністю напівкогерентних міжфазних границь, термічною стабільністю, кращими розподілом і дисперсністю армуючих фаз. Крім того, екзотермічні реакції, що відбуваються при синтезі нових фаз у процесах реакційного лиття дозволяють поліпшити змочування і тим самим підвищити граничні концентрації керамічних наповнювачів у КМ. У цей же час у сучасну металургію алюмінієвих сплавів впроваджується прогресивний метод легування таблетками або порошковими брикетами (ПБ) [47, 48]. Для КМ розроблений метод виготовлення композиційних порошкових брикетів [49]. Застосування таких прийомів розширює технологічні можливості одержання композитів із заданими властивостями, особливо в комбінації з in-vitro методами [28, 29].

1.4 Антифрикційні КМ із матрицями з алюмінієвих сплавів – перспективний напрямок в області розробки матеріалів триботехнічного призначення

В основу науково-технічного прогресу, який пов'язано з розробкою апаратурного забезпечення нових наукомістких, технологічних процесів, закладені робочі параметри, що наближаються до критичних. Розвиток сучасних передових технологій став можливим не тільки завдяки прогресу у фізиці й інформатиці, але й завдяки створенню високоякісних синтетичних мате-

ріалів, що відрізняються високою функціональністю: композитів, полімерів, високоякісної кераміки. Сучасні прогресивні технології, по суті, являють собою результат впровадження нових матеріалів (поряд з мікроелектронікою, комп'ютерною технікою й автоматикою) у виробничі технологічні процеси [50].

У більшості випадків деталі машин, конструкції, інструмент, технологічні оснащення виходять з ладу не в результаті поломок, а внаслідок зношування поверхонь тертя. Тому надзвичайно гостро постає питання про зниження енерговитрат на тертя, підвищення довго тривалість й надійності роботи трибовузлів [51, 52]. У зв'язку зі створенням машин і агрегатів нової техніки, вузли тертя яких повинні працювати в екстремальних умовах високих навантажень і температур, вакууму й агресивних середовищ, безупинно підвищуються й ускладнюються вимоги до триботехнічних матеріалів. Крім того, технічний прогрес у промисловості, який пов'язано з жорсткістю робочих параметрів існуючого устаткування, також вимагає переоснащення вузлів тертя з використанням більш міцних і зносостійких матеріалів. Наведені вище положення однозначно доводять актуальність і значимість робіт зі створення триботехнічних матеріалів нового покоління з підвищеними фізико-механічними та експлуатаційними характеристиками. У той же час традиційні матеріали, що застосовуються в масовому машинобудуванні, у тому числі ливарні сплави, за своїми властивостями істотно не дотягують до необхідного рівня фізико-механічних властивостей (табл. 1.1). У цьому полягає одна з основних причин зниження надійності й довготривалості, завищення металомісткості машин і технологічного устаткування, особливо вітчизняного, збільшення обсягів виробництва запасних деталей. З таблиці 1.1 видно, що найгостріша проблема забезпечення машинобудування високостійкими трибоматеріалами для екстремальних умов експлуатації високонавантажених вузлів тертя. Зазначена негативна ситуація, а також обмежені сировинні ресурси легуючих і базових металів, інші техніко-економічні проблемні питання в країні обумовлюють необхідність створення нових наукових підходів і тех-

нологічних методів комплексного поліпшення фізико-механічних властивостей і експлуатаційних характеристик литих трибодеталей для масового машинобудування, у тому числі, нових видів композиційних антифрикційних литих матеріалів для екстремальних умов експлуатації.

Таблиця 1.1 – Характеристика забезпеченості машинобудування трибоматеріалами з необхідним рівнем властивостей [2].

№ п/п	Вид матеріалу	Ступінь забезпеченості у %	Вимоги до підвищення властивостей нових матеріалів
1.	Конструкційні		
1.1	Чавуни, включаючи леговані	30	Підвищення міцності, усталостності й термоусталостної довговічності, холодостійкості, в'язкості руйнування в 1,5-3,0 рази
1.2	Сталі низьколеговані	50	
1.3	Сталі середньо- і високолеговані	40	
1.4	Алюмінієві сплави	70	
2.	Зносостійкі		
2.1	Для сухого й абразивного тертя	50-60	Підвищення зносостойкості в 2-5 раз ті ж в 3-7 разів ті ж в 5-12 разів
2.2	Для тертя при підвищених температурах	10	
2.3	Для тертя в агресивних середовищах	25	

Як зазначалося раніше, складність завдання зростає через те, що сучасні методи фізичного матеріалознавства (легування, термічна й термомеханічна обробка) практично вичерпали свої можливості підвищення працездатності металевих матеріалів (залізовуглецевих і кольорових сплавів, титану), тому що подальший ріст їхньої міцності не приводить до адекватного росту модуля нормальної пружності. Питома твердість всіх металевих мономатеріалів незалежно від рівня міцності перебуває на одному рівні [3]. У зв'язку із цим, стає зрозумілим неупинне зростання інтересу фахівців у промислово розвинутих країнах до принципово нового класу конструкційних матеріалів – композиційних матеріалів, у тому числі ЛКМ, як до нового перспективного антифрикційного матеріалу.

Невисока вартість і доступність дисперсійно зміцнених КМ на основі алюмінієвих сплавів в сукупності із можливістю застосування традиційних технологій і стандартного устаткування для формування заданої сполуки, дають надію на прискорення процесу впровадження таких матеріалів у машинобудуванні [53-55]. Приклади застосування КМ в умовах тертя наведені в роботах С.С. Затуловського, Ф.М. Хостінга, С. Ліна, І.М. Федорченко, П.З. Горбунова, В.В. Галя, В.П. Гаврилюка та інших дослідників. Повідомляється про різні випробувані варіанти сполучень матеріалів у трибопарах і сполуки КМ для трибоз'єднань, але оптимальні данні, що забезпечують найбільш високий рівень механічних і експлуатаційних властивостей, визначаються, як правило, емпіричним шляхом. В умовах тертя ковзання перевага віддається литим металоматричним композиційним матеріалам на основі алюмінієвих сплавів, які армовано частинками кераміки.

На сьогодні розробка КМ з алюмінієвими матрицями для трибо сполучень не вийшла ще зі стадії нагромадження емпіричних даних. Певною мірою, це викликано відсутністю достовірних моделей поведінки в трибоко-нтакті не тільки КМ, але й традиційних антифрикційних матеріалів. Однак, навіть невеликий досвід промислових випробувань нових антифрикційних КМ у трибо сполученнях різних видів техніки свідчить про їх високу експлуатаційну надійність [56-60]. Як приклад наводиться перспективне застосування в трибо сполученнях транспортних засобів композиційних матеріалів (КМ) на базі алюмінієвих сплавів, які армовані дискретними наповнювачами – нитковидними кристалами або частками [56, 61, 62]. Виготовлені із КМ на основі сплаву 6090 із частинками SiC поперечна балка літака, рамка електронного приладу, деталі для мотоциклу демонструють зниження маси деталей приблизно на 20% [59]. Наявність у КМ дисперсних частинок модифікує алюмінієві сплави, подрібнюючи включення SiC і евтектику, за рахунок чого зносостійкість КМ зростає в середньому в 2-3 рази, а коефіцієнт тертя знижується з 0,15 до 0,05...0,08 [70]. У зв'язку із цим подібні КМ було рекомендо-

вано для виготовлення зносостійких деталей або для нанесення зносостійких покриттів, зокрема для підшипників ковзання [63].

У роботі [62] розглядали варіант сухого тертя сплаву 6061 Al і КМ на його основі з 20% Al_2O_3 на підшипниковій сталі. Випробування велися в температурному інтервалі від 25 °С до 500 °С з постійною швидкістю ковзання 0,2 м/с. Навантаження змінювали від 10 до 50 Н.

Значення коефіцієнта тертя КМ при м'якому зношуванні коливаються близько $0,5 \pm 0,1$ в інтервалі температур 25...230 °С, а для матричного сплаву змінюються від $0,5 \pm 0,1$ при 25 °С до $0,35 \pm 0,1$ при 150 °С, у той час як при сильному зношуванні, що характеризується грубою пластичною деформацією поверхні, коефіцієнт тертя зростає до $2,0 \pm 0,5$ при 400 °С для КМ і при 350 °С для матричного сплаву. Температура переходу КМ від м'якого до сильного зношування залежить від навантаження, яке прикладалося й становить при навантаженнях 50, 150 і 350 Н відповідно 200, 150 і 250, тобто зі збільшенням навантаження, яке прикладається температура переходу знижується. Відзначається, що інтенсивність зношування КМ 6061 Al-20% Al_2O_3 дорівнює приблизно $4 \cdot 10^{-3}$ мм³/м при кімнатній температурі і при її підвищенні до 230 °С.

Було досліджено й усталостні властивості композитів на основі алюмінієвого сплаву 2124, який армовано частками SiC [64]. Збільшення межі міцності, границі текучості зі збільшенням вмістом частинок SiC супроводжується зниженням пластичності й підвищенням деформаційного зміцнення, а також зниженням здатності витримувати циклічні пластичні деформації. Висновком роботи є те що матеріали на основі алюмінієвої матриці, яку зміцнено частинками кераміки, становлять інтерес для використання їх у триботехнічних цілях [64].

1.5 Висновки та постановка задач дослідження

Потреба в легких і міцних матеріалах у сучасних умовах експлуатації механізмів і машин досить велика. Найбільш привабливим залишається алюміній і сплави на його основі через їхню доступність, технологічність та передбачуваність властивостей. Зміцнення алюмінієвих сплавів дисперсними високомодульними частинками кераміки дозволяє одержати комплекс нових досить вагомих властивостей. Висока термічна стабільність алюмінієвої матриці при додаванні твердих частинок кераміки визначає перспективність використання КМ на основі алюмінію в триботехнічних цілях. Сполучення різнорідних фаз забезпечує високу несучу здатність матеріалів трибо сполучень, високу зносостійкість і задиристійкість, стійкість проти абразивного зношування. КМ на основі алюмінієвих сплавів вважаються перспективними заміниками сплавів міді й олова у зв'язку з економією дорогих елементів, зниженням ваги, і відносною дешевизною.

На підставі досліджених літературних джерел поставлено наступні завдання:

1. Розробити ливарно-порошкову технологію твердорідинної консолідації КМ з рівномірним розподілом дискретних елементів наповнювача, який має широкий кількісний і якісний склад;
2. Встановити характер змочування матеріалу дискретних наповнювачів ливарними сплавами алюмінію та визначити раціональні режими твердорідинної консолідації;
3. Дослідити реакційно - дифузійну взаємодію на границі тверде тіло - рідина матричного розплаву;
4. Вивчити вплив типу, кількості і складу дискретних наповнювачів, методу одержання, технологічних режимів на структуру, фізико-механічні та триботехнічні властивості алюмоматричних КМ.

2 МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Вихідні матеріали

Для дослідження поверхневих властивостей розплавів як вихідні матеріали використовували підложки та зерна (розміром 160...200 мкм) корунду, карбїду кремнію, алюмосилікату та алюміній марки АК12М2МгН (АЛ25) ГОСТ 1583-93, хімічний склад яких наведено у табл. 2.1.

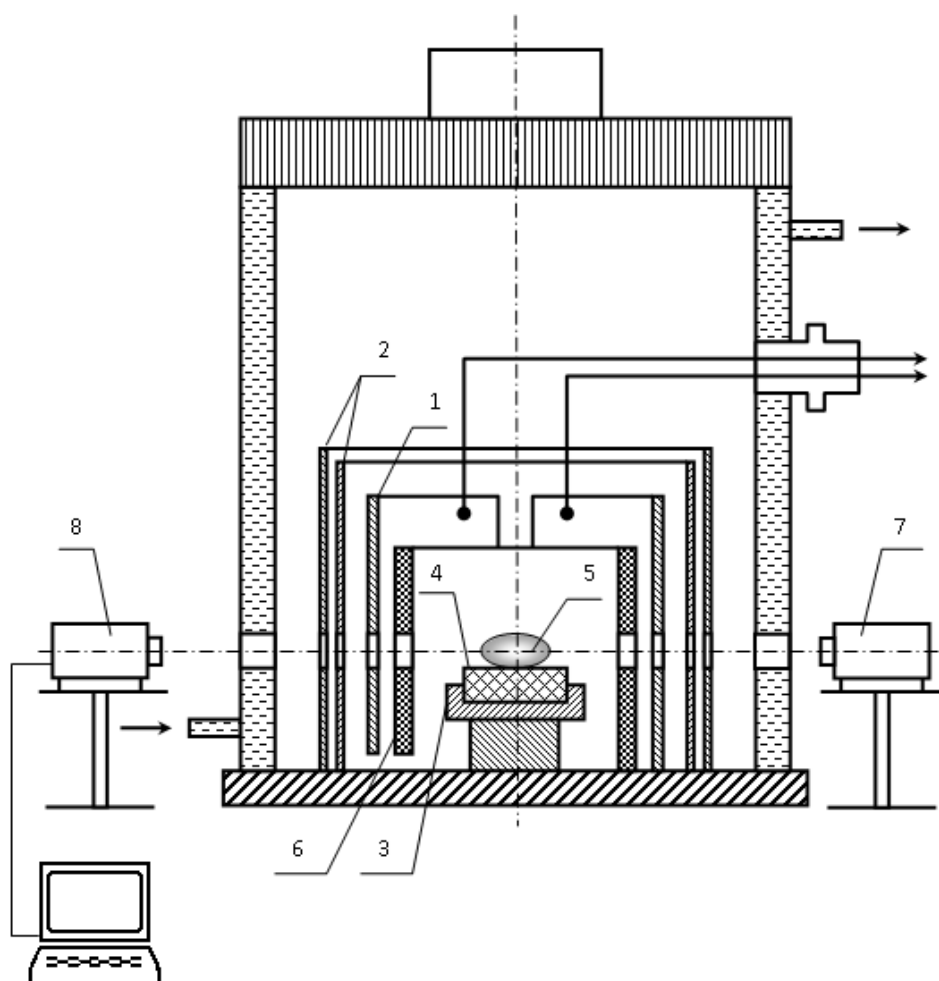
Таблиця 2.1 – Хімічний склад використовуваного алюмінію

Хімічний елемент	Вміст хімічних елементів для сплавів, %	
	АК12М2МгН	АК7
Al	79,5...85,55	87,6...93,6
Fe	до 0,8	до 1,3
Si	11...3	6...8
Mn	0,3...0,6	0,2...0,6
Ni	0,8...1,3	до 0,3
Cr	до 0,2	-
Ti	0,05...0,2	-
Cu	1,5...3	до 1,5
Pb	до 0,1	-
Mg	0,8...1,3	0,2...0,5
Zn	до 0,5	до 0,5
Sn	до 0,02	-
Інші	до 1,3	до 3,3

Для тримання композиційних виливків методом вакуумно-компресійного просочення порошкового напонувача та дослідження їх триботехнічних властивостей використовували карбїд вольфраму та кремнію, силікатний пісок, сажу, графіт та сплав алюмінію марки АК7 ГОСТ 1583-93 (табл. 2.1).

2.2 Дослідження поверхневих властивостей розплавів методом лежачої краплі

Для дослідження поверхневих властивостей високотемпературних розплавів використовували оригінальну установку, яку було розроблено і ствердно у відділі фіз-хімії сплавів ФТІМС НАНУ, схема якої показана на рис. 2.1.



1 – піч з нагрівачем; 2 – молибденові екрани; 3 – столик; 4 – підкладка;
5 – крапля розплаву; 6 – допоміжний керамічний екран з двома протилеж-
ними вікнами; 7 – джерело світла; 8 – цифрова відеокамера.

Рисунок 2.1 – Схема камери установки для вивчення поверхневих вла-
стивостей розплавів методом лежачої краплі.

Вона складається з камери нагріву, що виконана у вигляді цілісного ме-
талевго корпусу з водяним охолодженням і вікнами для освітлення та фотог-
рафування. У середині камери нагріву встановлена піч з нагрівачем 1, що ви-
готовлений з молибдену та оточений набором молибденових екранів 2. На сто-
лику 3, що виготовлений з ніобію, встановлюється підкладка з досліджуваним
матеріалом 4. На підкладці розташовується крапля розплаву 5. Для захисту
дзеркальної поверхні краплі від відображення в ній оточуючих предметів вста-
новлений допоміжний керамічний екран 6 з двома протилежними вікнами.
Для фіксації зображення профілю краплі використовували джерело світла 7 і

цифрову відеокамеру 8. Столик з краплею обладнано механізмом повертання на 90° . Це дозволяє знімати краплю з двох взаємно перпендикулярних боків. Горизонтальне фіксування камери здійснюється за допомогою юстировочного столика.

Устаткування надає змогу проводити дослідження у вакуумі до температури 1873 К і в середовищі інертного газу до 1723 К.

Для проведення вимірювань на столику розміщували підкладку із зразком масою 0,6...1,2 г з дослідного матеріалу. За допомогою юстировочних гвинтів камеру печі утворювали у горизонтальному положення та після герметизації включали вакуумну систему. По досягненні заданого вакууму ($P = 102...103$ Па) та заповнення камери інертним газом проводили нагрів. Температуру вимірювали за допомогою термопари ПП1, гарячий спай якої знаходився поблизу зони контакту підкладки з розплавом. Регулювання температури здійснювали високоточним регулятором температури ДРТ-3 з точністю $\pm 1,0$ °С.

Робочу зону печі нагрівали зі швидкістю 100...150 град/хв. При досягненні заданої температури рідку краплю витримували протягом 10 хв, безперервно знімаючи зображення за допомогою цифрової відеокамери.

Механізм вимірювання на описаному обладнанні базується на методі лежачої краплі, який широко відомий і методично досконально обґрунтований. В стандартних умовах вимірювання проводять при крайовому куті змочування $\theta > 90$ град. Вимірювання при $\theta \leq 90$ град. мають меншу точність, але достатню задля вимірювання поверхневого натягу. Загалом використовуються дві методи вимірювання параметрів рідкої краплі на підкладці. За першою вимірюють екваторіальний радіус r і відстань від вершини до екваторіальної площі H . У цьому випадку розрахунки капілярної сталої проводяться за емпіричною формулою Портера.

За другою методикою проводяться дотичні до профілю краплі під кутом 45 град. і вимірюють максимальний діаметр краплі $2r$ і відрізок C , що дорівнює відстані від вершини краплі до вершини кута ϕ , що утворений дотичними

з бісектрисою, що збігається з віссю обертання краплі. В такому випадку капілярна постійна розраховується з таблиць або за формулою Дорсея. Маса зазвичай визначається як середній показник зважування твердого зразка до і після експерименту. Капілярну постійну визначали за допомогою рівняння Лапласа (2.1), що вирішувалося програмно:

$$\frac{Z''}{(1+Z'^2)^{3/2}} + \frac{Z'}{\chi(1+Z'^2)^{1/2}} = \frac{Z}{a^2} + \frac{2}{h}, \quad (2.1)$$

де Z, χ – координати профілю краплі;

a^2 – капілярна стала;

h – радіус кривизни профілю на вершині.

Що в свою чергу дозволяє розрахувати густину розплаву, та контактні кути змочування, а поверхневий натяг (σ_{pr}) виражено як

$$\sigma_{\text{pr}} = a^2 g \Delta\rho, \quad (2.2)$$

де g – прискорення вільного падіння;

$\Delta\rho$ – різниця густин рідкої та газової фаз на межі їх контакту.

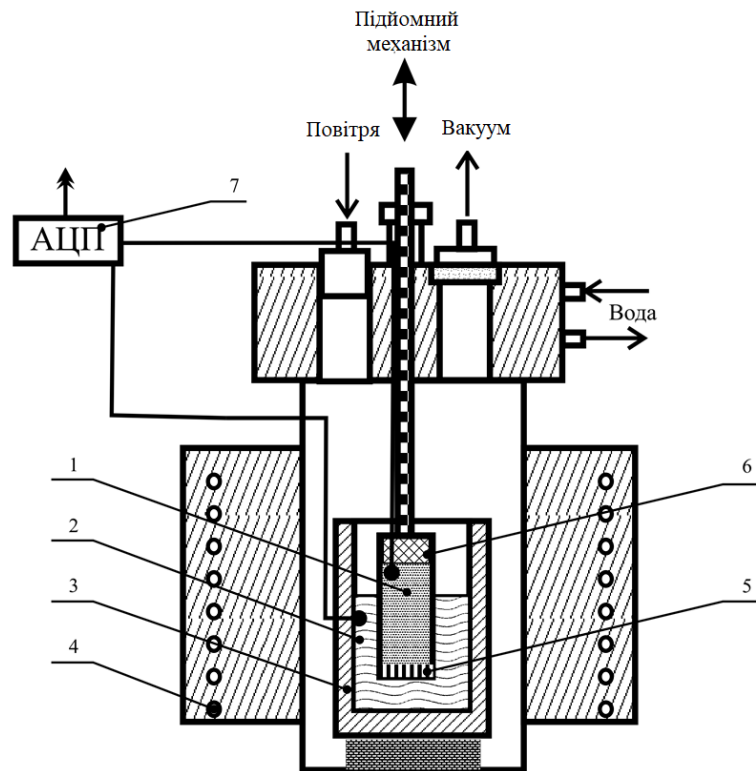
Енергія адгезії розраховується за рівнянням Дюпре [65]:

$$W_{\alpha} = \sigma_{\text{pr}}(1 + \cos \theta). \quad (2.3)$$

Для дослідження змочування дискретних частинок проводили гравітаційне просочування при температурі 800 °C та ізотермічній витримці 10 хв.

2.3 Одержання композиційних виливків методом вакуумно-компресійного просочення порошкового наповнювача

Для отримання композиційних виливків використовували метод вакуумно-компресійного просочення порошкового наповнювача. Схема використаної установки представлена на рис. 2.2.



1 – порошкова суміш; 2 – розплав металу; 3 – графітовий тигель; 4 – піч опору; 5 – пориста заглушка; 6 – вакуумний буфер; 7 – аналогово-цифровий перетворювач

Рисункок 2.2 – Схема устаткування для одержання композиційних виливків методом вакуумно-компресійного просочення порошкового наповнювача

Принцип роботи устаткування полягає в наступному: у графітову або керамічну форму укладається порошкова суміш алюмінієвого порошку і компонентів наповнювача КМ (1) і ущільнюється механічним пуансоном. Заповнену й ущільнену в такий спосіб суміш закривають пористою алюмінієвою заглушкою (5). У графітовий тигель (3) завантажується шихта матричного сплаву. Після цього в камері печі (4) створюється вакуум $10^{-1} \sim 10^{-5}$ атм. і включається

нагрів печі (4). При досягненні заданої температури, плавлення шихти та формування рідини розплаву (2), після ізотермічної витримки (10...15хв), нагрів печі відключають, перекривається кран доступу вакуумного насосу до камери печі. Форма за допомогою підйомного механізму опускається під дзеркало металу. Після чого відкривається доступ атмосферного повітря в камеру печі. Прогріта й вакуумована форма за рахунок різниці тиску в камері печі й формі (вакуумному буфері 6), починає просочуватися алюмінієвим розплавом, проникаючи через пористу заглушку (5). Температурний режим просочення контролюється двома термопарами, сигнали даних з термопар надходять в аналогово-цифровий перетворювач (7). Після повного просочення форми, вона піднімається і охолоджується у водоохолоджуваній кришці камери печі.

Описаний вище алгоритм роботи експериментальної установки, відповідає нерівноважному режиму просочення порошкової суміші. Залежно від режиму алгоритм роботи може відрізнятися, але основний принцип роботи установки залишається незмінним.

2.4 Дослідження триботехнічних властивостей

Дослідження триботехнічних властивостей КМ проводили на машині тертя МТ-68 в умовах сухого тертя та в умовах граничного змащення машинним маслом при навантаженнях 0,6...2,4 МПа і швидкостях тертя від 0,5 до 10 м/с, контртіло - сталевий вал підвищеної твердості HRC=59...61 (Сталь 65Г, ДСТУ 14959-79). Рівень зносостійкості матеріалів оцінювали за інтенсивністю зношування:

$$I = m/(L*S), \quad (2.4)$$

де m – втрата маси зразка, мг;

L – шлях тертя, км;

S – площа трибоконтакту, см².

Дослідження триботехнічних характеристик проводили в кілька етапів. Спочатку для формування сфери тертя, зразки прироблялися при мінімальних навантаженнях і швидкостях. Час приробляння тертя алюмоматирчних КМ в умовах змащення становило 1 годину (± 20 хв), в умовах сухого тертя 30 (± 10) хвилин. На першому етапі проводилися випробування при постійній швидкості 2 м/с і навантаженні 0,6 МПа, після цього навантаження поступово підвищували до 2,4 МПа. У режимі сухого тертя випробування додатково проводили в інтервалі швидкостей тертя до 10 м/с. У режимі граничного змащення, (машинне масло) випробування при підвищених швидкостях не проводили у зв'язку з утворенням «пригару» на зразках, що вносив додаткову помилку у виміри, що не дозволяло оцінити вірогідність результатів випробувань.

2.5 Висновки до розділу 2

1. Описано вихідні матеріали та методику проведення експериментів.
2. Наведено методики дослідження поверхневих властивостей розплавів методом лежачої краплі, одержання композиційних виливків методом вакуумно-компресійного просочення порошкового напонувача та дослідження триботехнічних властивостей.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

3.4 Висновки до розділу 3

1. Розроблена ливарна технологія, яка дозволила одержувати композити з різним вмістом армуючих елементів(від 10 до 70%).
2. Встановлено, що сілуміни погано змочують підкладки до температури 1150°C
3. Результати досліджень показали, що триботехнічні властивості композитів перевищують властивості серійних матеріалів(бронз і латуней) при навантаженнях до 2 МПа, і температурах до 200°C

4 ОРГАНІЗАЦІЙНО – ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Науково-технічна актуальність теми дослідження

Науково-технічний прогрес вимагає створення нових, покращених у порівнянні з вже відомими, матеріалів. Поставлені високі вимоги до експлуатаційних характеристик матеріалів, що використовуються в екстремальних умовах неможливо не можливо реалізувати за рахунок використання серійних сплавів і традиційних методів їхньої обробки.

Так як деталі машин, оснащення та інструмент досить часто виходять з ладу внаслідок руйнування контактних поверхонь тертя, розробка нових економноармованих антифрикційних матеріалів з поліпшеними експлуатаційними характеристиками для масових галузей промисловості є актуальною науково-технічною проблемою.

4.2 Розрахунок витрат на проведення дослідження

4.2.1 Витрати на оплату праці

Витрати на оплату праці науково-дослідного персоналу розраховують на основі даних про трудомісткість окремих робіт по темі дослідження та посадових окладів безпосередніх їх виконавців [50].

Під час виконання магістерської дисертації було задіяно три виконавці: старший науковий співробітник, доктор технічних наук, інженер-дослідник (магістр) та технік 1 категорії.

Так як відсутні методики розрахунку трудомісткості різних етапів виконання магістерської дисертації, їх значення встановлювали на базі експертних оцінок від провідних фахівців. Результати експертної оцінки трудомісткості етапів магістерської дисертації наведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Трудомісткість етапів магістерської дисертації

Найменування робіт по темі дослідження	Трудомісткість, людино-днів		
	ст. наук. співр., кандидат технічних наук	інженер-дослідник (магістр)	технік 1 категорії
1. Аналіз науково-технічних публікацій з теми	4	20	—
2. Обґрунтування мети та напрямів дослідження	2	7	—
3. Розробка методики проведення експериментів	3	4	2
4. Проведення експериментів	5	10	14
5. Дослідження зразків	3	15	-
6. Обговорення отриманих результатів	9	15	-
Разом за виконавцями теми	26	71	16

Денну заробітну плату кожного з виконавців визначали як місячну заробітну плату, поділену на середню кількість днів у місяці, що при п'ятиденному робочому тижні становить 21,2 дні. Місячні посадові оклади заробітної плати та величина денної заробітної плати виконавців роботи наведені в табл. 4.2.

Фонд заробітної плати (ФЗП) обчислюється як сума добутків трудомісткості і денної заробітної плати кожного з виконавців:

$$\text{ФЗП} = 26 \cdot 605,09 + 71 \cdot 0 + 16 \cdot 245,7 = 19663,54 \text{ грн.}$$

Таблиця 4.2 – Розрахунок витрат на оплату праці

Посада виконавців теми	Планова трудомісткість, людино-днів	Заробітна плата, грн		
		посадовий місячний оклад	середньоденна зарплата	усього за виконавцями
Ст. наук. співр., доктор технічних наук	26	12828,00	605,09	15732,34
інженер-дослідник (магістр)	71	-	-	-
технік 1 категорії	16	5209,00	245,7	3931,2
Разом оплата праці науково-дослідної роботи				19663,54

4.2.2 Єдиний соціальний внесок

Згідно з діючим законодавством України єдиний соціальний внесок є обов'язковим відрахуванням на загальнодержавне соціальне страхування і складає 22%. Базою для нарахування єдиного соціального внеску слугують загальні витрати на оплату праці по науково-дослідній роботі.

$$B_c = 0,22 \cdot 19663,54 = 4325,98 \text{ грн.}$$

4.2.3 Матеріали, необхідні для проведення досліджень

Для виготовлення експериментальних зразків використовували композиційний матеріал Ti-TiB та алюміній марки А0. Дані про вартість використовуваних матеріалів та загальні витрати на матеріали B_M наведено в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Вартість основних матеріалів

Найменування	Одиниця вимірювання	Кількість	Ціна, грн/кг	Сума, грн
Сплав АЛ25	кг	2	36	72
Al_2O_3	кг	1	120	120
Карбід кремнію	кг	1	320	320
Алюмосилікат	кг	1	25	25
Загальні витрати на матеріали (B_M)				537

4.2.4 Витрати на спеціальне обладнання

При виконанні магістерської дисертації усі роботи проводили лише з використанням наявного обладнання. Витрати на утримання та експлуатацію обладнання відносимо до статті «Накладні витрати».

4.2.5 Вартість послуг сторонніх організацій

У виконанні даної магістерської дисертації сторонні організації участі не приймали.

4.2.6 Витрати на службові відрядження

Згідно з планом даної НДР службові відрядження не передбачаються.

4.2.7 Інші невраховані прямі витрати

Інші невраховані прямі витрати ($C_{\text{ІНШ}}$) плануємо у розмірі 10% від врахованих:

$$V_{\text{ІНШ}} = 0,1 \cdot (19663,54 + 4325,98 + 537) = 2452,65 \text{ грн.}$$

4.2.8 Накладні витрати

Накладні витрати включаються до калькуляції кошторисної вартості теми пропорційно обсягам витрат на оплату праці основних виконавців або пропорційно сумі прямих витрат на виконання теми досліджень по нормативам організації-виконавця цього дослідження.

Ця стаття включає витрати, пов'язані з управлінням організацією-виконавцем теми, витрати на винахідництво і раціоналізацію; витрати на амортизацію основних фондів; витрати на науково-технічну інформацію; витрати на забезпечення нормальних умов праці і техніки безпеки; витрати на оплату послуг банків; податки, збори та інші обов'язкові платежі і витрати тощо [50].

Норматив відрахувань на накладні витрати встановлений в розмірі 20% планової суми прямих витрат по темі магістерської дисертації:

$$НВ = 0,2 \cdot (19663,54 + 4325,98 + 537 + 2452,65) = 5395,83 \text{ грн.}$$

4.2.9 Розроблення планової калькуляції кошторисної вартості теми

Планова кошторисна вартість магістерської дисертації визначається як сума витрат за окремими статтями вартості. Результати визначення вартості наведені у табл. 4.4.

Таблиця 4.4 – Калькуляція планової кошторисної вартості магістерської дисертації за темою

Найменування статей витрат	Позначення	Сума	
		грн.	%
1	2	3	4
1.Витрати на оплату праці	ФЗП	19663,54	60,74
2.Єдиний соціальний внесок	В _С	4325,98	13,36
3.Матеріали для проведення досліджень	В _М	537	1,66
4.Спецобладнання для наукових цілей	—	—	—
5.Вартість послуг сторонніх організацій	—	—	—
6.Витрати на службові відрядження	—	—	—
7.Інші невраховані прямі витрати по темі	В _{ІНШ}	2452,65	7,57
8.Накладні витрати	НВ	5395,83	16,67
9.Кошторисна вартість теми		32375	100

4.3 Визначення очікуваних результатів магістерської дисертації та розрахунок показників економічної ефективності

Дослідження, що проводиться в даній роботі, має пошуковий та теоретичний характер, а отже розрахунок очікуваного річного економічного ефекту досить складний, оскільки відсутні повні дані відносно сфери використання результатів роботи, а також вихідні дані для розрахунку одночасних та поточних витрат. У зв'язку з цим доцільно використовувати бальну систему оцінки економічної ефективності за наступними показниками:

- важливість розробки (K1);
- можливість використання результатів розробки (K2);

- теоретичне значення та рівень новизни (K3);
- складність розробки (K4).

Шкала для оцінки важливості розробки K1:

1. Ініціативна робота, яка не є, а ні частиною комплексної програми, а ні завданням директивних органів – 1;

2. Робота, яка виконується за договором про науково-технічні допомоги – 3;

3. Робота представляє собою частину відомчої програми – 5;

4. Робота представляє собою частину відомчої комплексної програми – 7;

5. Робота виконується як частина міжнародної комплексної програми – 8.

Приймаємо показник важливості розробки $K1 = 1$.

Шкала для оцінки можливості використання результатів розробки K2:

1. Результати розробок можуть бути використані в даному підрозділі – 1;

2. Результати розробки можуть бути використані в даній організації – 3;

3. Результати розробки можуть бути використані в багатьох організаціях – 5;

4. Результати розробки можуть бути використані в масштабах галузі – 8;

5. Результати розробки можуть бути використані в багатьох різноманітних галузях – 10.

Приймаємо показник $K2 = 8$.

Шкала для оцінки теоретичної значимості і рівня нововведення K3:

1. Аналіз узагальнення і класифікація відомої інформації, подібні результати були відомі в досліджуваній області – 2;

2. Одержання нової інформації, що доповнить подання про суттєвість досліджуваних процесів, не відомої в дослідницькій області – 3;

3. Одержання нової інформації, яка частково міняє уявлення про суттєвість дослідження процесів, не відомих раніше – 5;

4. Створення нових теорій, методик і т. п. – 6;

5. Одержання інформації, яка служить формуванню нових напрямків – 8.

Приймаємо показник $K3 = 3$.

Шкала для оцінки показників складності дослідження K4:

1. Робота виконується одним підрозділом, витрати менше 20 тис.грн. – 1;

2. Робота виконується одним підрозділом, витрати 20...100 тис.грн. – 3;
3. Робота виконується одним підрозділом, витрати 100...200 тис.грн. – 5;
4. Робота виконується з урахуванням багатьох підрозділів, витрати від 200 тис.грн. до 1 млн.грн. – 7;
5. Робота виконується декількома організаціями, витрати понад 1млн.грн. – 9.

Приймаємо показник $K4 = 3$.

Загальна оцінка B визначається як добуток коефіцієнтів :

$$B = 1 \cdot 8 \cdot 6 \cdot 3 = 144$$

Умовний річний економічний ефект науково-дослідної роботи визначається за формулою:

$$\epsilon_{\text{ндр}} = 500 \cdot B \cdot E_{\text{н}} \cdot V_{\text{ндр}}, \quad (5.1)$$

де 500 – умовна вартість одного балу;

$E_{\text{н}}$ – нормативний коефіцієнт економічної ефективності, $E_{\text{н}} = 0,15 \div 0,5$;

$V_{\text{ндр}}$ – витрати на виконання магістерської дисертації (планова річна кошторисна вартість виконання магістерської дисертації). $V_{\text{ндр}} = 32375$ грн..

Таким чином, умовний економічний ефект становить:

$$\epsilon_{\text{ндр}} = 500 \cdot 144 \cdot 0,50 \cdot 32375 = 55812,5 \text{ грн.}$$

Економічна ефективність магістерської дисертації визначається коефіцієнтом ефективності $E_{\text{ндр}}$, який характеризує частку загального ефекту від роботи на умовну одиницю витрат:

$$E_{\text{ндр}} = \epsilon_{\text{ндр}} / V_{\text{ндр}}. \quad (5.2)$$

Підставивши значення у формулу (5.2) знайдемо коефіцієнт економічної ефективності:

$$E_{\text{ндр}} = 55812,5/32375 = 1,73.$$

Отже, судячи з розрахованого коефіцієнта, виконання даної магістерської дисертації є економічно обґрунтованим.

4.4 Висновки до розділу 4

1. Розраховано планову кошторисну вартість проведення магістерської дисертації з урахуванням всіх видів витрачених ресурсів.
2. Обґрунтовано актуальність та економічну доцільність проведення роботи.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ НА РОБОЧОМУ МІСЦІ

5.1 Організаційні питання охорони праці

Охорона праці – система правових, соціально-економічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів, спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці [51].

Головною метою охорони праці є створення на кожному робочому місці безпечних умов праці, безпечної експлуатації обладнання, зменшення або повна нейтралізація дії шкідливих і небезпечних виробничих факторів на організм людини і, як наслідок, зниження виробничого травматизму та професійних захворювань.

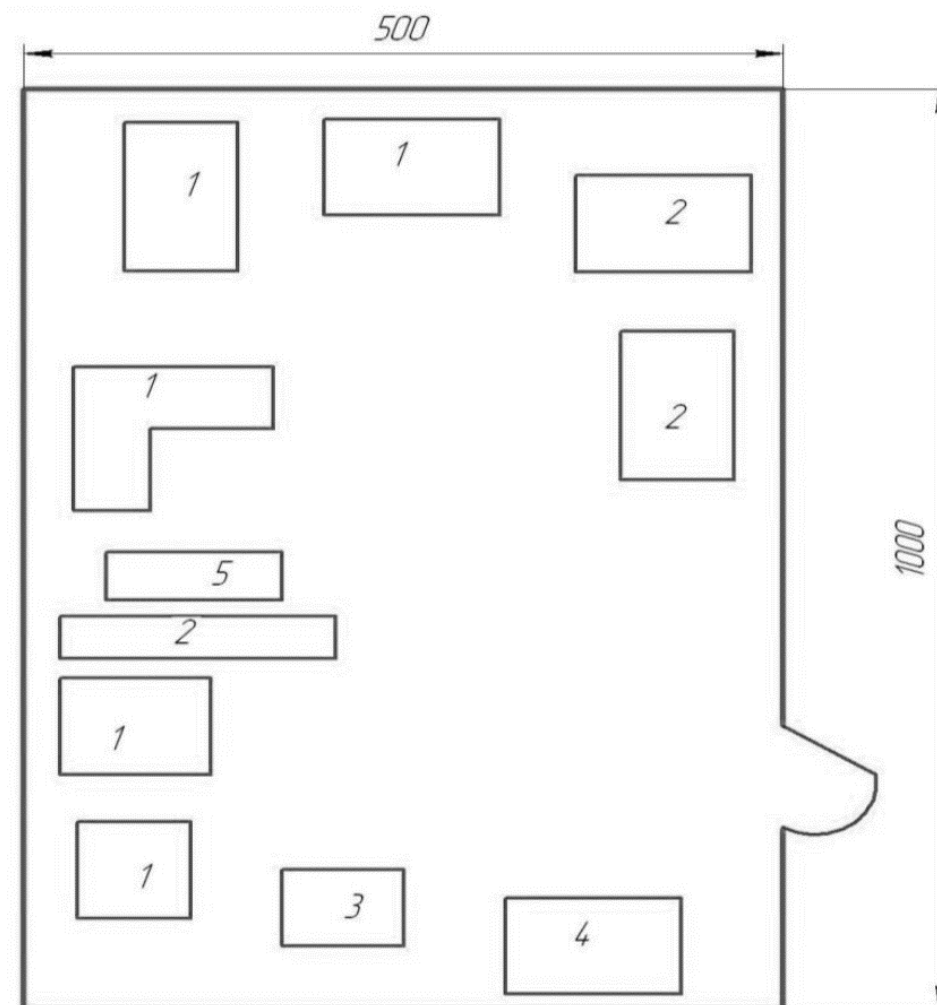
Основні положення щодо охорони праці наведені в Законі України «Про охорону праці».

Отже, метою цього розділу є аналіз небезпечних та шкідливих факторів, при яких виникає небезпека ураження організму, умов, що можуть привести до травмування в процесі отримання шаруватого композиційного матеріалу, а також розробка заходів спрямованих на усунення цих факторів та безпеку у надзвичайних ситуаціях.

5.2 Аналіз умов праці

Експериментальну частину магістерської дисертації виконували в лабораторії Фізико-технологічного інституту металів та сплавів у відділі композиційних матеріалів.

Площа робочої кімнати (рис. 5.1) складає – 50 м^2 , об'єм – 160 м^3 . Водночас, протягом робочої зміни, в приміщенні знаходиться 6 працівників, тобто на одну людину припадає площа – $8,33 \text{ м}^2$ і об'єм – $26,67 \text{ м}^3$. Це не суперечить вимогам ДСанПіН 3.3.2.007-98, згідно якого на одну людину повинно припадати площа не менша 6 м^2 , об'єм – 20 м^3 .



1 – робочий стіл; 2 – шафа; 3 – установка для дослідження поверхневих властивостей методом лежачої краплі; 4 – установка типу ВЧГ (високочастотний генератор); 5 – електронний мікроскоп

Рисунок 5.1 – План лабораторії з технологічним устаткуванням

Приміщення відділу розташоване на першому поверсі будівлі з вікнами, які виходять на північ. Для місцевого освітлення використовують лампи розжарювання, для загального – люмінесцентні.

При виконанні науково-дослідницької роботи використовували наступне обладнання:

- установка для дослідження міжповерхневих властивостей методом лежачої краплі;
- електронні ваги;
- токарний верстат;

– устаткування для одержання композиційних виливок методом вакуумно-компресійного просочення порошкового наповнювача

Матеріали, які використовувались при виконанні НДР:

багатокомпонентний сплав на основі міді, інертний газ, хімічні розчини.

Згідно ГОСТ 12.0.003-74 на працівників лабораторії діють наступні небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

- фізичні (підвищений рівень температури, підвищений рівень електромагнітних випромінювань та підвищене значення електричного струму);
- хімічні (подразнюючі, що проникають в організм людини через органи дихання).

Джерелом теплового та інфрачервоного випромінювання в лабораторії є печі опору. Для захисту від теплового випромінювання використовують теплоізоляцію гарячих поверхонь, екранування теплового випромінювання та захисний одяг.

Лабораторія відноситься до приміщень з підвищеною небезпекою ураження електричним струмом. Причинами ураження електричним струмом можуть бути: дотик до неізольованих струмопровідних частин електроустановок, які знаходяться під напругою, або до ізольованих при фактично пошкодженій ізоляції; дотик до неструмопровідних частин електроустановок або до електрично зв'язаних з ними металоконструкцій, які опинились під напругою в результаті пошкодження ізоляції. Також ураженню струмом сприяють невідповідність електроустановок, засобів захисту і приладів вимогам безпеки та невиконання технічних заходів безпеки.

Безпека експлуатації при нормальному режимі роботи електроустановок забезпечується наступними захисними заходами: застосуванням ізоляції, недоступністю струмопровідних частин, застосуванням малих напруг, захисним заземленням і використанням електрозахисних засобів.

Під час плавки алюмінію виділяються шкідливі гази, тому для зменшення їх дії на організм працівників лабораторії застосовують витяжну вентиляцію приміщення та інші засоби захисту органів дихання.

5.3 Забезпечення безпеки та запобігання надзвичайним ситуаціям

Запобігання виникненню надзвичайних ситуацій – це підготовка та реалізація комплексу правових, соціально-економічних, політичних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних та інших заходів, спрямованих на регулювання безпеки, проведення оцінки рівнів ризику, завчасне реагування на загрозу виникнення надзвичайної ситуації на основі даних моніторингу (спостережень), експертизи, досліджень та прогнозів щодо можливого перебігу подій з метою недопущення їх переростання у надзвичайну ситуацію або пом'якшення її можливих наслідків. Зазначені функції запобігання надзвичайним ситуаціям техногенного та природного характеру в нашій країні виконує Єдина державна система запобігання і реагування на надзвичайні ситуації техногенного і природного характеру, затверджена Постановою Кабінету Міністрів України від 3 серпня 1998 р. № 1198 [52].

5.4 Висновки до розділу 5

1. Встановлено, що організація робочих місць відповідає санітарним нормам.
2. Проведено аналіз шкідливих та небезпечних факторів, які передбачають умови, при яких може виникнути небезпека ураження організму.
3. Запропоновано заходи для уникнення травмування.

6 РОЗРОБЛЕННЯ БІЗНЕС-ПРОЕКТУ

6.1 Опис ідеї проекту

Запропоновано технологію виготовлення нового алюміній-матричного композиційного антифрикційного матеріалу.

6.2 Бізнес-модель

6.2.1 Продукт

Композиційний антифрикційний алюміній-матричний матеріал, армований комплексними наповнювачами.

6.2.2 Сегмент споживачів

Споживачами запропонованого продукту можуть бути наступні промислові підприємства:

- ТОВ «Мелітопольський завод підшипників ковзання»;
- ТОВ «Ливарна компанія «Символ»;
- ТОВ «Завод інженерних машин М»;
- ДП «Харківське КБ з машинобудування ім. Морозова»;
- ДП «Завод ім. Малишева».

6.2.3 Канали збуту

Застосовують прямі канали збуту, які пов'язані з переміщенням товарів і послуг без участі посередників. Вони забезпечують доступ до кінцевого споживача, що дає такі вагомі переваги, як можливість збирання маркетингової інформації та прямий вплив на споживачів, але потребують значних фінансових вкладень. До прямих каналів збуту можна віднести:

- безпосередній контакт з потенційними покупцями через візити на підприємства та презентації товару;

- контакт через тематичні та галузеві виставки та конференції;
- збут через інтернет-ресурси
- збут через оптові бази та склади.

6.2.4 Взаємодія зі споживачами

З конкретним споживачами взаємодія може відбуватися через особисті контакти, по телефону, електронній пошті; можливе застосування програм лояльності.

Із потенційними споживачами – через інформаційні інтернет-ресурси: сайт проекту, блог новин проекту, виставки, конференції.

6.2.5 Прибуток (монетизація)

Отримання прибутку від продажу готових виробів основної номенклатури та індивідуальних замовлень, а також від впровадження своєї технології для інших виробників.

6.2.6 Ключові види діяльності

1) Наукова діяльність – це інтелектуальна творча діяльність, спрямована на одержання та використання нових знань. Основними її формами є фундаментальні та прикладні наукові дослідження.

2) Виробництво продукції – певний технологічний процес отримання виробів певної конфігурації та із заданими технологічними та механічними властивостями.

3) Маркетингова діяльність – являє собою творчу управлінську діяльність, завдання якої полягає в розвитку ринку товарів, послуг і робочої сили шляхом оцінки потреб споживачів, а також у проведенні практичних заходів для задоволення цих потреб.

6.2.7 Ключові ресурси

Ключові ресурси можна поділити на:

- матеріальні: промислові приміщення, вихідні матеріали, фінансове забезпечення;
- інтелектуальні: технологія виготовлення продукції, охоронні документи (патенти), науково-технічні працівники.

6.2.8 Ключові партнери

Ключовими партнерами є:

- підприємство, яке забезпечує виробничу базу;
- компанії з надання логістичних і маркетингових послуг;
- постачальники сировини та енергоресурсів для виробництва.

6.2.9 Витрати

Основними є витрати на:

- оренду промислових потужностей;
- ресурсозабезпечення;
- логістику;
- маркетинг.

6.3 Споживчі властивості товару

Представлений композиційний матеріал має підвищений рівень триботехнічних властивостей.

6.4 Дослідження ринку

За результатами аналізу існуючого ринку продукції аналогічного призначення можна зробити висновок, що технології, які використовуються

на сьогодні для виробництва виробів аналогічного призначення можуть програвати за триботехнічними властивостями.

6.5 Маркетингова стратегія просування

Маркетингова стратегія просування проекту складатиметься з:

- просування проекту в мережі Internet;
- участі у галузевих виставках та конференціях;
- проведення презентацій для потенційних покупців;
- зустрічей безпосередньо на підприємствах, які користуються запропонованою продукцією та проведення демонстрацій та «особистих продажів» виробів;
- поступовим опануванням ринку України та виходом на міжнародний ринок.

6.6 Елементи фінансового плану

6.6.1 Опис бізнес - проекту

Мета проекту – отримання прибутку шляхом продажу виробів, виготовлених за розробленою технологією.

Актуальність проекту – створення енерго- та ресурсозберігаючої технології одержання композиційних антифрикційних матеріалів комплексно армованих дискретними наповнювачами з підвищеним рівнем триботехнічних властивостей матеріалу.

6.6.2 Опис товару/ послуги/ технології

Запропонований композиційний матеріал можна використовувати в машинобудівній галузі промисловості.

6.6.3 Маркетинг та продаж

Маркетингова стратегія просування проекту включає в себе:

- просування проекту в мережі Internet;
- участь у галузевих виставках та конференціях;
- проведення презентацій для потенційних покупців.

Для продажу застосовуються прямі канали збуту:

- безпосередній контакт з потенційними покупцями;
- збут через інтернет-ресурси.

6.6.4 Фінансовий план

На поточному етапі існування проекту фінансовий план у необхідному обсязі не прораховувався. Однак, можна вважати, що заплановані інвестиції для впровадження у виробництво та виробництва готових виробів в межах одного підприємства-виробника становлять:

- оренда промислових потужностей – 2 000 \$;
- відпрацювання технології в умовах виробництва – 2 000 \$;
- ресурсозабезпечення – 2 000 \$;
- затрати на логістику, маркетинг, з/п – 5 000 \$.

Поточна ситуація по проекту:

- проект на стадії відпрацювання та удосконалення технології в лабораторних умовах;
- в наявності є дослідні зразки.

6.6.5 Резюме

Проект призначений для покращення триботехнічних властивостей антифрикційних матеріалів.

Заплановані інвестиції для впровадження у виробництво на одному підприємстві становлять 11 000 \$.

Бізнес-модель до даного проекту зображено на рис. 6.1.

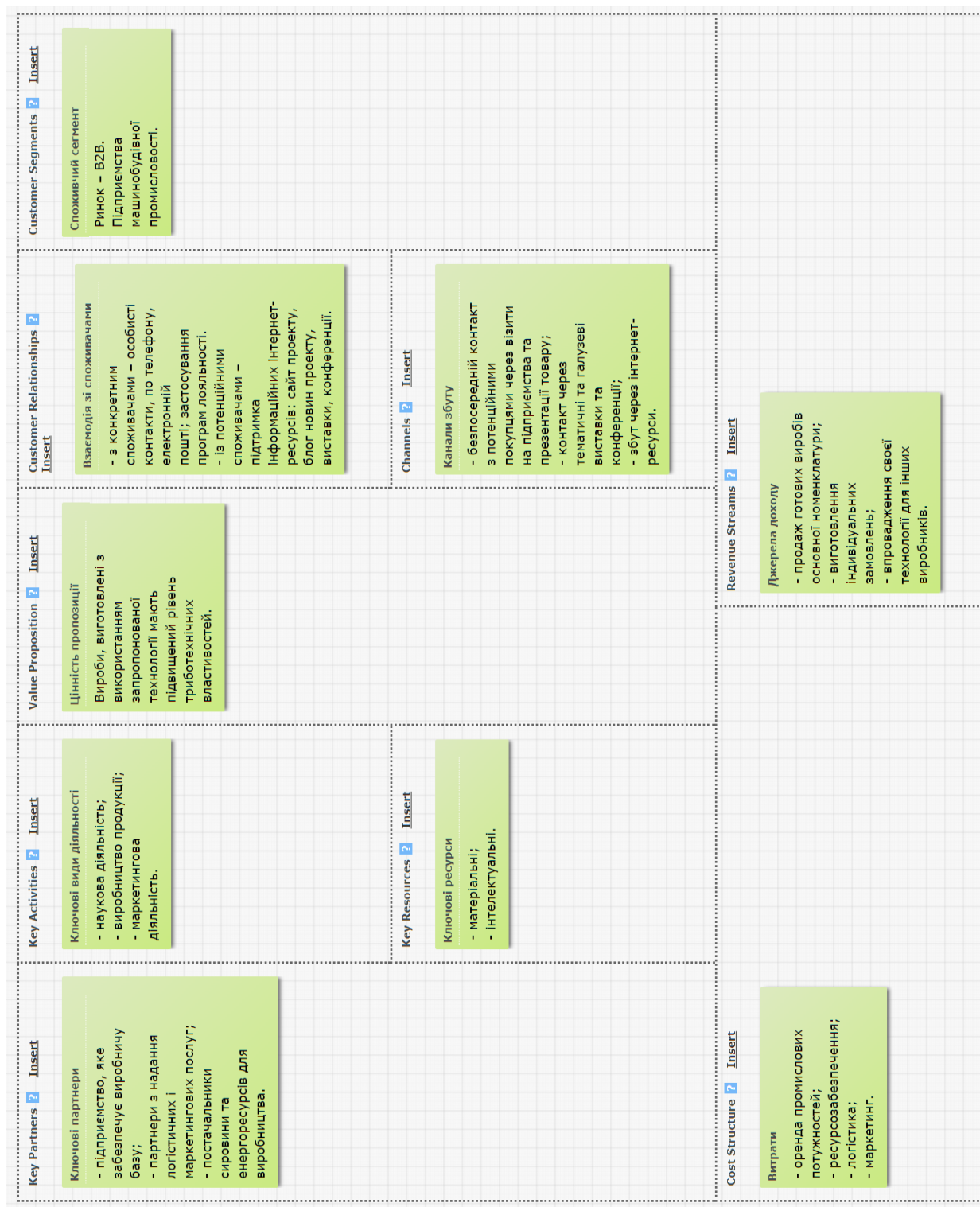


Рисунок 6.1 – Бізнес-модель

6.8 Висновки до розділу 6

1. Досліджено можливість ринкової комерціалізації проекту.
2. Розроблений композиційний матеріал є перспективним для впровадження у виробництво, так як може забезпечити покращені триботехнічні властивості антифрикційних матеріалів.
3. Представлено бізнес-модель проекту.

ВИСНОВКИ

1. На основі літературних даних сформульовано основні вимоги до металоматричних композиційних матеріалів та їхніх складових: матриць та армуючих елементів. Встановлено, що за рівнем властивостей і вартості найбільш ефективними є дискретно зміцнені композиційні матеріали на основі алюмінієвих сплавів, армовані тугоплавкими, високомодульними частинками., такими, як карбіди (SiC, TiC), нітриди (TiN). оксиди (Al_2O_3 , SiO_2 , ZrO_2) та інш.

2. Результати дослідження змочування різних підкладок показали, що для вивчених високомодульних матеріалів контактний кут змочування до $1000\text{ }^{\circ}C$ становить більше 90° , це свідчить про низьке змочення частинок алюмінієвим сплавом. Підвищення температури призводить до суттєвого зменшення кута змочування корунду, карбіду кремнію, шамоту і графіту, а вище $1100\text{ }^{\circ}C$ практично всі ці підкладки змочуються алюмінієвим розплавом. Тому в процесі консолідації складових необхідним є застосування значного перегріву розплаву для забезпечення міцності адгезійного зв'язку, або застосування додаткових зовнішніх сил та впливів для об'єднання композиційних складових.

3. Встановлено, що при використанні просочення, оптимальним способом визначення характеристик змочування та адгезії є натурний експеримент в установці вакуум-компресійного просочення, що виконується шляхом вимірювання висоти просоченого шару та аналізу мікроструктури міжфазних зон на наявність вторинних структур та розшарувань. Аналіз міжфазної зони дозволяє напряму виявити формування дефектів в поєднаннях шарів та утворення вторинних фаз внаслідок хімічної взаємодії.

4. Встановлено, що структура литого екзогенного ЛКМ, отриманого методом ВКП, визначається режимом просочення форми з порошковою сумішшю. Структура ЛКМ, отриманого в рівноважному режимі ізотермічного про-

сочення буде відповідати структурі литої заготовки та з вираженою дифузійною пористістю. У квазірівноважному режимі основною рушійною силою виступає дифузійна кристалізація, при цьому градієнт температури завершує процес кристалізації. Такий матеріал має двофазну структуру з різним вмістом легуючих елементів в алюмінієвій матриці. Структура АЛКМ отриманого в нерівноважному режимі просочення складається з областей із дрібнозернистою структурою швидко загартованого металевих порошку і областей з типовою морфологією для литого алюмінієвого сплаву.

5. Аналіз результатів триботехнічних досліджень дозволяє стверджувати, що введення неметалічних високомодульних частинок в алюмінієві сплави дозволяє кардинально підвищити зносостійкість матеріалу. Введення графіту й ультрадисперсних цибулинних наноструктур вуглецю однозначно знижує коефіцієнт тертя, а в деяких випадках одночасно підвищує і зносостійкість матеріалу.

6. Встановили, що алюмоматричні ЛКМ, зміцнені частинками WC і SiC по своїм триботехнічним властивостям при випробуваннях в умовах сухого тертя не гірші, а при деяких режимах тертя перевершують більш ніж у два рази за зносостійкістю контрольні зразки із бронзи БрАЖ 9-4 (ГОСТ 18175-78).

7. Результати досліджень триботехнічних властивостей КМ на базі АЛ25 (АК12М2МгН), армованих комплексними (високомодульними частинками і частинками твердої змазки) наповнювачами: а) 0,45 – 0,75 ваг. % Al_2O_3 (до 10 нм); б) 0,45 – 0,75 ваг. % Al_2O_3 (до 10 нм), 2 – 2,5 ваг. % SiC (100 – 500 нм); в) 0,45 – 0,75 ваг. % Al_2O_3 (до 10 нм), 0,5–1 % ЛНУ; г) 0,45 – 0,75 ваг. % Al_2O_3 (до 10 нм), 2 – 2,5 ваг. % SiC (100-500 нм), 0,5–1 % ЛНУ; д) 0,45 – 0,75 ваг. % Al_2O_3 (до 10 нм), 2 – 2,5 ваг. % SiC (100-500 нм), 0,5-1 ЛНУ, 10 ваг. % SiC (100-160 ваг.) показали, що вони мають підвищений рівень триботехнічних властивостей в досліджених режимах тертя, в умовах граничного змащення відносно зразків, що містять більші кількості крупних (160–200 мкм) фракцій частинок SiC. При цьому, рівень їхньої зносостійкості не поступається контрольним зразкам БрАЖ 9-4.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Лякишев Н.П., Николаев А.В. //Металлург. – 2003. – №2. – С.40-45. Прогресивні матеріали і технології: Київ: ВД Академперіодіка, 2003, с.115-130.
2. Найдек В.Л.//Литейное производство. – 1991. – №3. – С.2-4; Процессы литья.- 1997.-№4.-С.3-5.
3. Золотаревский Ю.С. и др. //Вопросы материаловедения. – 1999. – №3 (20). – С.292-306.
4. Затуловский С.С. //Литейное производство. – 2003. – №6. – С.9-17; //Процессы литья. – 1997. – №4. – С.6-11.
5. Затуловский С.С. и др. Литые композиционные материалы. – Киев: Техника, 1990. – 240 с.
6. Семенов Б.И. Освоение композитов – путь к новому уровню качества материалов // Литейное производство, 2000, № 8, с. 6 - 11.
7. Gupta, N. Solidification Processing of Metal-Matrix Composites / N. Gupta, K.G. Satyanarayana 7/ The Rohatgi Symposium. JOM. – 2006. – № 5. – P. 112- 118. .
8. Devecha, A.P1 Silicon; carbide reinforced aluminum – a formable composite / A.P. Devecha, S.G. Fishman, S.D. Karmarkar // JOM. – 1981. – № 9. -P. 12- 17.
9. Кербер М.Л. Композиционные материалы / СОЖ, 1999. – №5. – С. 33 – 41.
10. M. K. Surappa, Jawarharlal Nehru Inorganic matrix composites / Minerals, Metals & Materials Society, 1996. – 305 p.
11. А. И. Батышев, К. А. Батышев Отливки из композиционных материалов.– М.: Обзор. информ, 1990. – 41 с.
12. J. N. Fridlyander Metal matrix composites. – Chapman & Hall, 1995.– 682 p.
13. R. Donnini Metal Matrix Composites: Structure and Technologies. – VDM Verlag, 2009. – 172 p.

14. Курганова Ю.А. Разработка и применение дисперсно упрочненных алюмоматричных композиционных материалов в машиностроении / автореф. дис. на соиск. науч. степени д-ра тех.наук: спец. 05.16.06. – М.: Ин-т металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН., 2008. – 48 с.
15. Современные композиционные материалы: Пер. с англ. / Под ред. Л. Браутмана, Р. Крока. – М.: Мир, 1970. – 140 с.
16. Затуловский С.С. Суспензионная разливка. – Киев: Наукова думка, 1981. – 260 с.
17. Кербер М.Л. Композиционные материалы / Соросовский образовательный журнал, 1999. – №5. – С. 33 – 41.
18. Чернышова Т.А., Кобелева Л.И., Болотова Л.К. Дискретно армированные композиционные материалы с матрицами из алюминиевых сплавов и их трибологические свойства / Металлы, 2001. – №6. – С. 85-98.
19. Марченко Е.А. Комбалов В.С, Рощин М.Н. Фрикционные характеристики некоторых литейных алюминиевых сплавов / Проблемы машиностроения и надежности машин, 2002. – №2 – С. 55 – 59.
20. Н. П. Барыкин, А. Х. Валеева, И.Ш. Валеев Износостойкие покрытия с наполнителем из ультрадисперсной оксидной пленки / Трение и износ, 2006. – №2 – С. 201 – 205.
21. Затуловский С.С., Бялик О.М., Голуб Л.В., Коссинская А.В. Дослідження впливу армування і термообробки на структуру та трибовластивості литих композиційних матеріалів на основі сплаву АК5М2 / Збірник Фундаментальні орієнтири науки.– Київ: Академперіодика, 2005 – С. 359 – 369
22. Ray, S. MTech dissertation / S. Ray // Indian Institut of Technology. Kanpur. – 1969.
23. Patent 4 786 467. US Process for preparation of composite materials containing nonmetallic particles in f metallic matrix, and composite materials made by. / D.M. Skibo, D.M. Schuster, L. Jolla. – 1988.

24. Duralcan Composites for Gravity Castings. Duralcan USA. San Diego. – 1992.
25. Duralcan Composites for High-Pressure Die Castings. Duralcan USA. San Diego. – 1992.
26. Surappa; M.K. J. Mater. Proc. Tech. - 1997. - 63.- P. 325 - 333.
27. Семенов, Б.И: Освоение композитов – путь к новому уровню качества материалов / Б.И. Семенов // Литейное производство. – 2000. – №8. – С. 6 - 11.
28. Чернышева Т.А., Кобелев Л.И., Болтова Л.К., Панфилов А.В., Панфил А. А. Дисперсно упрочненные композиционные материалы, полученные в процессе реакционного литья / В кн.: Матер. 30-ой Международной конференции «Композиционные материалы в промышленности», 2010. – С 275 – 278.
29. Чернышова Т.А., Кобелева Л.И., Болотова Л.К., Калашников И.Е. Трибологические характеристики алюмоматричных композиционных материалов, упрочненных наноразмерными наполнителями / Трение и износ, 2005. – том 26, – №4. – С. 446 – 450.
30. Singla, Manoj Development of Aluminium Based Silicon Carbide Particulate Metal Matrix.Composite7 Manoj Singla, D. Deepak Dwivedil, Singh Lakhvir, Chawla Vikas // Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering. – 2009: – Vol: 8: –№6;. – P;.455-467.
31. 541 Balasivanandha; Si. Influence of stirring speed and stirring time on distribution of particles in cast, metal matrix Composite / S. Balasivanandha,. L.Kaarunamoorthy, S.Kaithiresan, B.Mohan // Journal of Material Processing Technology. – 2006:.. – V. 171. – P. 268 - 273.
32. Hashim, J. The wettability of SiC particles by molten aluminum alloy/ / J.Hashim, L. Looney, M.S.Hashmi // J. Journal of Materials Processing Technology. – 2001. – V. 119 (1-3). – P. 324 - 328.
33. Hashim; J. The enhancement of wettability of SiC particles: in cast aluminium matrix composites / J. Hashim, L. Looney, M:S; Hashmi // J: Journal of Materials Processing Technology. – 2001. – V. 119(1-3). – P. 329-335.

34. Миронова Е.В., Затуловский А.С., Лакеев В.А., Гарбуз П.П. Литейные и триботехнические свойства антифрикционных алюминиевых ЛКМ in situ. Тезисы Международной научно-практической конференции «Перспективные технологии, материалы и оборудование в литейной индустрии» 19 – 21 октября 2010 года, г. Киев.

35. Семенов, Б.И. Производство изделий из металла в твердожидком состоянии. Новые промышленные технологии / Б.И. Семенов, К.М. Куштаров // – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2010. – 223 с.

36. New Rheocasting. Aluminio Magazine. – 2000. – № 7. – P. 52 - 54.

37. Hosking, E.M. Composites of aluminum alloys: fabrication and; wear behaviour / F.M: Hosking, Portillo F. Folgar, R. Wunderlin; R.Mehrabian*// Journal of Materials Science. – 1982. – №17. – P. 477 – 498.

38. Microstructure and tensile properties of sgueeze cast SiC particulate reinforced Al – Si ally / Karnezis P.A., Durrant G., Cantor B. // Mater. Sci. and Tecbiol, 1998, 14, № 2, 97 -107.

39. Courtright, E.L. Technology spotlight / E.L. Courtright // Adv. Mater., – 1990. – 11.-P. 71.

40. Microstructure and tensile properties, of sgueeze cast SiC particulate reinforced AI - Si ally / Karnezis P.A., Durrant G., Cantor B. // Mater. Sci. and Technol, 1998, 14, № 2, 97 -107.

41. Kevorkijan V.M., Cost A. Effective Foundry Method for the Preparation of Structural Grade Discontinuously Reinforced AlMCs. Proc.ICCM-11, Australia, 1997, v.III, p. III-43-III-52.

42. Cui Chunxiang, Wu Renjie. Fabrication of in-situ Reacted AlN-TiC/Al Composite. Proc. ICCM-10, Canada, 1995, v. II, p. II-153-II-159.

43. H. Fukunaga, K. Kajikawa, T. Kakehi. Fabrication of MMCs by Reaction Squeeze Casting.Proc.3 Jap. Intern. SAMPLE Symp., 1993,1, p. 931-936.

44. Панфилов А.А., Панфилов А.В., Чернышова Т.А., Кобелева Л.И., Болотову Л.К. Новые алюмоматричные композиционные материалы,изготовленные в процессе in-situ. Труды международной

конференции "Теория и практика технологий производства изделий из композиционных материалов и новых металлических сплавов (ТПКММ), 27-30 августа 2003, М., Знание, 2004. с.136-140.

45. Дисперсно упрочненные композиционные материалы, полученные в процессе реакционного литья. Т.А.Чернышова, Л.И.Кобелева, Л.К.Болотова, А.В.Панфилов, А.А.Панфилов. III Международная конференция "Материалы и покрытия в экстремальных условиях: исследования, применения, экологически чистые технологии производства и утилизации изделий" 13-17.09.2004г. Кацивели-Понизовка. А.-Р.Крым, Украина.с. 226-227.

46. Чернышова Т.А., Калашников И.Е., Болотова Л.К., Кобелева Л.И. Получение алюмоматричных композиционных материалов с норазмерными модификатбрами методами жидкофазного совмещения. Физика и химия обработки материалов, 2006, №1, с. 85 - 90.

47. Шарапова О.М., Геращенко И.И., Нагорный В.М, и др.- Способ получения алюминиевых сплавов. А.С. СССР 1663039. МКИ, С22 №4398109/02, заявл. 23.03.88 опубл. Б.И. №26, 15.07.91.

48. Уваров В.В., Дроздов И.А., Боднарчук Д.А. Об использовании легирующих таблеток при выплавке алюминиевых сплавов / Сб. Научных трудов Всероссийского Совещания материаловедов России / Ульяновск.: типография УлГТУ, 2006, с.81-85.

49. Курганова Ю.А., Чернышойа Т.А. Разработка порошковых брикетов для изготовления литых композиционных материалов // Физика и химия обработки материалов, 2007, №3, с. 57-61.

50. Затуловский А.С. и др. //Материалы Международной научно-технической конференции «КМ в промышленности» (Славполиком) – г. Ялта, Украина. – 2001. – С.43-44.

51. Лу Юнсан //Вестник РАН. – 2000. – т.70. – №4. – С.340-342.

52. Федорченко И.М. //Порошковая металлургия. – 1979. – №4. – с.53-56.

53. Романова В.С., Трубкина Е.М. Производство прессованных полуфабрикатов из порошковых композитов системы Al-SiC и исследование их свойств // Технология легких сплавов, 1993, №12, с. 49 - 53.
54. Грибков А.Н., Асенов А.А., Жежер М.В., Золотаревский В.С. Структура и свойства дисперсно - упрочненного композиционного материала, получаемого методом механического легирования // Технология легких сплавов, 1993, №12, с. 53 - 59.
55. Вишняков Л.Р., Ониськова Н.П., Ромашко И.М. Технологическое освоение композиционного материала системы Al-SiC // Технология легких сплавов, 1996, №3, с. 64 - 69.
56. Hosking .F.M, Portillo F., Wunderlin R.. Mehrabian R. Composites of aluminum alloys; fabrication and wear behaviour// J.Mater.Sci. – 1982, – 17, №2. P.477-498.
57. Курганова Ю.А., Чернышова Т.А., Кобелева Л.И. Дискретно армированный композиционный материал как альтернатива традиционным антифрикционным материалам. Технология металлов, 2005, №10, с.30-34.
58. Курганова Ю.А., Чернышова Т.А., Кобелева Л.И. Применение дискретно армированного композиционного материала в узлах трения. Заготовительные производства в машиностроении, 2006, №4, с.45-47.
59. Harridan Williom C. Scaling up particulate-reinforced aluminum posites for commercial production // JOM, 1991, №8, с.32.
60. Разработка и применение литых композиционных материалов в машиностроении / Панфилов А.В. // Российская научно - техническая конференция «Новые материалы и технология машиностроения». Москва, 1993, Тезисы докладов. – М., 93.- с. 76.
61. Rohatgi P. Cast aluminum - matrix composites for automotive applications// JOM. – 1991. – 43, №4. – P.10-16.
62. J.Singh, A.T.Alpas. High-temperature wear and deformation processes in metal matrix composites // Metallurgical and Materials Transactions, A, 1996, volume 27A, p3134.

63. Гнесин Г.Г. Износостойкость керамических материалов на основе карбида и нитрида кремния // Порошковая металлургия, 1993, №5, с. 3 - 8.
64. Srivatsan T.S., Auradkar R. // Effect of silicon carbide particulate on cycli plastic strain response characteristics and fracture of aluminium alloy composites / Int.J.Fatigue. – 1992, 14, № 6, с.2.
65. Ю.В. Найдич Поверхностные свойства расплавов и твердых тел и их использование в материаловедении. – Киев: Наукова Думка. – 1991. – 275 стр.
66. Найдек В.Л., Затуловский А.С., Затуловский С.С. Литые антифрикционные металлокомпозиты. Эксклюзивный проект ИПЛ – ФТИМС НАН Украины / В кн.: 50 років в АН України: ІЛВ, ІПЛ, ФТИМС. – Київ: ФТИМС НАНУ. – 2008. – С. 348 – 347.
67. Верховлюк А.М. Межфазное взаимодействие жаропрочного никелевого сплава с оксидами /Адгезия расплавов и пайка материалов. – 2002. – .№ 35. – С. 80 – 82.
68. Q. Li, D.C. Dunand, A. Mortensen, J.A. Cornie Interface Structure in Infiltrated Composites of Aluminum Reinforced with Alumina-Silica Fiber Preform // Metallurgical Transactions. – 1991.– P. 1126 – 1128.
69. Т.А. Чернышова, Л.И. Кобелева, П. Шебо, А.В. Панфилов Взаимодействие металлических расплавов с армирующими наполнителями // С-Пб.: Наука. – 1993. – 272 стор.
70. A. Alonso, A. Pamies, J. Narciso, C. Garcia-Cordovilla, E. Louis Evaluation of the wettability of liquid aluminum with ceramic particulates (SiC, TiC, Al₂O₃) by means of pressure infiltration // Metallurgical and Materials Transactions A. – 1993. – P. 1423 – 1432.
71. В.И.Костиков, А.Н. Варенков Композиционные материалы на основе алюминиевых сплавов, армированных углеродными волокнами. – М.: «Интермет инжиниринг», 2000. – 445 стр.
72. Sobczak N., Ksiazek M.,Radziwill W., Mogiel J., Baliga W., Stobierski L., Effect of titanium on wettability and interfaces in the Al/SiC system. – Proc. Int.

Conf. High Temperature Cappabil 97 // Foundry Research Institute. – 1997. – P. 138 – 145.

73. Ferro A.C, Derby B. Wetting behavior in the Al-Si/SiC system: Interface reactions and solubility effects. – Acta Metallurgica et Materialia. – Vol. 43, № 8. – 1995. – P. 3061–3073.

74. Попова Л.Е., Бодрова Л.Е. и др. Изучение процессов смачивания карбида кремния алюминиевыми расплавами // Расплавы. – 2008. – №3. – С. 10 – 12.